Government of Canada | Gouvernement du Canada
Canadian Forestry Service | Service canadien des forêts

Joint Report No. 12

# *Technical Papers Presented at the Fourteenth Session of the North American Forestry Commission*

Published jointly by the Great Lakes Forestry Centre and
the Food and Agriculture Organization of the United Nations

# TECHNICAL PAPERS PRESENTED AT THE FOURTEENTH SESSION OF THE NORTH AMERICAN FORESTRY COMMISSION

SAULT STE. MARIE, CANADA

13-17 OCTOBER, 1987

BIOTECHNOLOGY

REMOTE SENSING

NONWOOD FOREST PRODUCTS

Published jointly by the Great Lakes Forestry Centre
and the Food and Agriculture Organization
of the United Nations

1988

Joint Report No. 12

89-05949/

©Minister of Supply and Services Canada 1988
Catalogue No. FO 29-11/12
ISBN 0-662-55899-5
ISSN 0832-7157

*Additional copies of this publication are available at no charge from:*

*Communications Services*
*Great Lakes Forestry Centre*
*Canadian Forestry Service*
*Government of Canada*
*P.O. Box 490*
*Sault Ste. Marie, Ontario*
*P6A 5M7*

*Microfiches of this publication may be purchased from:*

*Micro Media Inc.*
*Place du Portage*
*165, Hotel-de-Ville*
*Hull, Quebec*
*J8X 3X2*

# FOREWORD

*The Fourteenth Session of the North American Forestry Commission was held at the Great Lakes Forestry Centre in Sault Ste. Marie, Ontario, Canada from 14 to 17 October 1987. During the session, three technical papers were presented, and in view of the timeliness of the topics covered in these papers, members of the Commission recommended that they be published and made available to the forestry community at large. They are reproduced herein, in English, French and Spanish, as a Joint Report of the Great Lakes Forestry Centre (Canadian Forestry Service) and the Food and Agriculture Organization of the United Nations. None of the papers has been edited; in each case, translations are from the text as it appeared in the original version prepared by the author. It should be noted that, in the two papers that contain references, those references have been listed only once, at the end of the final (Spanish) version.*

*The papers deal with biotechnology, remote sensing and nonwood forest products, and the universal importance of all three topics is attested to by the fact that the Commission has recommended that the Food and Agriculture Organization intensify its activities in these areas. The report provides useful background information for anyone interested in both technological developments and future directions in forestry, and especially for those concerned with implementing the recommendations of the North American Forestry Commission.*

*R.A. Haig,*
*A/Director General*
*Great Lakes Forestry Centre*

## TABLE OF CONTENTS


Page

BIOTECHNOLOGY
Bruce E. Haissig

FOREST TREE BIOTECHNOLOGY:
UNIQUE TOOLS TO ENHANCE FOREST PRODUCTIVITY . . . . . 1

BIOTECHNOLOGIE DES ARBRES FORESTIERS:
OUTILS EXCEPTIONNELS POUR AMÉLIORER LA
PRODUCTIVITÉ FORESTIÈRE . . . . . 7

LA BIOTECNOLOGÍA DE LOS ÁRBOLES FORESTALES:
MÉTODOS UNICOS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD
DE LOS BOSQUES . . . . . 13

REMOTE SENSING
Donald G. Leckie

REMOTE SENSING IN CANADIAN FORESTRY:
CURRENT STATUS AND TRENDS . . . . . 21

LA TÉLÉDÉTECTION ET LA FORESTERIE CANADIENNE:
SITUATION ET TENDANCES . . . . . 33

DETECCIÓN REMOTA EN LA SILVICULTURA CANADIENSE:
TENDENCIAS Y SITUACION ACTUEL . . . . . 43

NONWOOD FOREST PRODUCTS
Luis A. Gonzales Leija

MEXICAN NONWOOD FOREST PRODUCTS . . . . . 55

PRODUITS FORESTIERS NON LIGNEUX DU MEXIQUE . . . . . 73

PRODUCTOS FORESTALES NO MADERABLES EN MEXICO . . . . . 89

# FOREST TREE BIOTECHNOLOGY: UNIQUE TOOLS TO ENHANCE FOREST PRODUCTIVITY

# BIOTECHNOLOGIE DES ARBRES FORESTIERS: OUTILS EXCEPTIONNELS POUR AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ FORESTIÈRE

# LA BIOTECNOLOGÍA DE LOS ÁRBOLES FORESTALES: MÉTODOS UNICOS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE LOS BOSQUES

Bruce E. Haissig
USDA Forest Service
North Central Forest Experiment Station
Forest Sciences Laboratory
P.O. Box 898
Rhinelander, Wisconsin, USA 54501

## EXECUTIVE SUMMARY

*Biotechnology is rapidly proving itself for generating unique, valuable forest tree cultivars. Current tree research focuses on pest tolerances, chemical tolerances, and chemical products; research is starting on growth rate, vegetative regeneration, morphology, and wood characteristics. Initially, such research has been time consuming and long term. But important new tree cultivars will soon be field tested; second applications of biotechnology will require much less time.*

*To optimize genetic improvement, biotechnology should be integrated with conventional tree breeding programs. Integrated approaches will most quickly yield improved cultivars and fundamental scientific knowledge required for more progress. Ancillary research is also needed in plant regeneration, gene molecular biology, juvenile vs. mature performance, and genetic diversity.*

*Continued development of biotechnology and supporting research is needed worldwide for effective afforestation and reforestation.*

## INTRODUCTION

Forest biotechnology ranges from techniques for biochemically improving industrial processes to those for genetically improving whole trees. The present paper briefly reviews the potentials and successes of biotechnology for modifying genetic characteristics of whole trees (see also 14, 15, 19, 23).

The great potential of biotechnology is speedy genetic manipulation of trees, either for producing improved cultivars or for dissecting the genetic basis of tree productivity (19). In addition, biotechnology has the potential for generating cultivars of forest trees that cannot be produced by conventional tree breeding alone. Primary forestry targets for biotechnology are tree growth rate, wood characteristics, morphology, pest tolerances, chemical tolerances, and secondary chemical products.

The full potentials of biotechnology may only be achieved in tree genetic improvement programs that integrate biotechnology and conventional breeding (19). The bases for integration are the two major bases of genetic improvement, selection and genetic recombination (Fig. 1). Examples of such integration have recently been described, such as use of molecular markers to identify genes so that the normally long breeding times for forest trees are lessened (19).

The biggest contribution of biotechnology may be basic knowledge, even though there is much current interest in directly applying biotechnology to tree improvement (19). All breeding approaches and related areas of forest biology are benefiting from new basic knowledge about the structure, function, and regulation of plant genes. New knowledge is likely to result in efficient solutions to old biological problems related to forest trees such as how to control and shorten the juvenile phase, thereby promoting early-life flowering and seed production. Such knowledge would speed forest tree genetic improvement by breeding and biotechnology, thus providing faster increases in tree productivity.

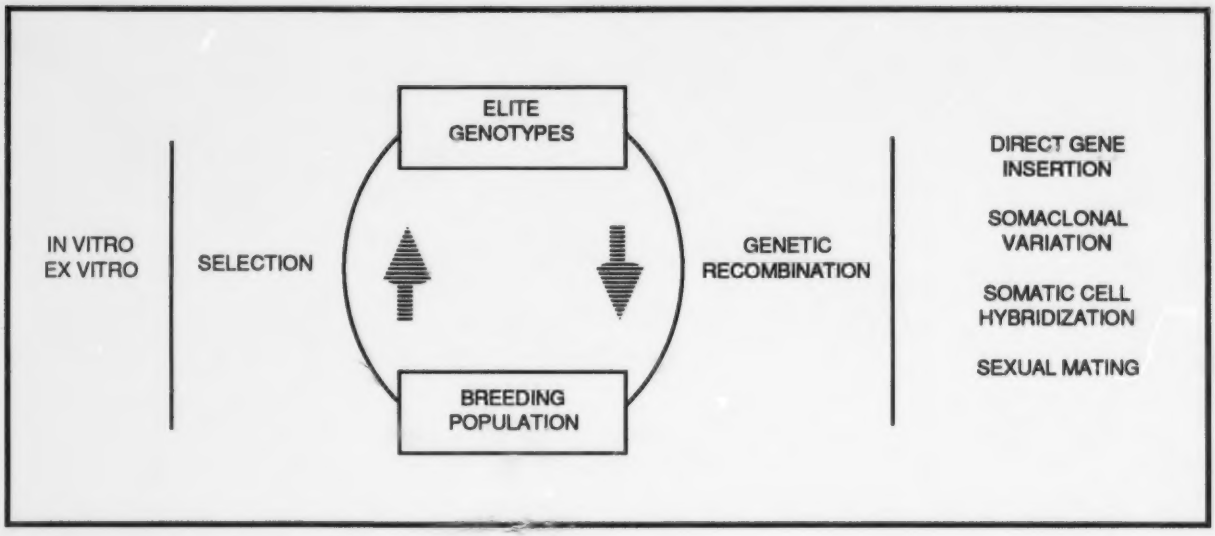


Figure 1. Scheme showing integrated use of tree breeding and biotechnology for genetic improvement. Biotechnologies such as direct gene insertion, somaclonal variation, and somatic cell hybridization, which achieve genetic recombination, are non-sexual analogues of breeding (mating). Selection always follows genetic recombination, and may be *in vitro* (usually in biotechnology) or *ex vitro* (usually in breeding).

## SUCCESSES WITH FOREST TREE BIOTECHNOLOGY

Biotechnology has been proven with some experimental plant species (e.g., tobacco, petunia) for genetic modification of traits controlled by one or perhaps a few genes. Such genetic modifications have been achieved by several types of direct gene insertion (19). Of these, only *Agrobacterium* mediated genetic transformation and tissue culture (so-called somaclonal) selection have been successfully used with forest trees. However, these initial successes bode well for forest tree biotechnology.

In forest trees, genetic transformations using *Agrobacterium tumefaciens* have been reported for the tumor-inducing portion of the Ti plasmid (T-DNA), which normally causes the crown-gall disease, and for small genes that confer antibiotic or herbicide tolerance (3, 6, 7, 8, 18, 22). In one of these studies, transformed plants were regenerated from the *in vitro* cultures (6, 7, 8). In that study a bacterial gene that confers tolerance to the broad-spectrum herbicide Roundup (glyphosate, Monsanto Co.) was introduced into a hybrid poplar. The resulting morphologically normal but genetically transformed poplars have been shown by greenhouse spray tests to tolerate Roundup better than untransformed control plants (20). Commercially important tolerance has yet to be achieved.

Genetic variation can be intentionally sought during the tissue culture process, producing plants that are termed somaclonal variants. Somaclonal variants may arise when plants are regenerated from tissues *in vitro* because of changes in native DNA, including gene mutation (2, 4,

5). Somaclonal selection has mostly been used with easily regenerated herbaceous species because specific, useful genetic variants occur only with low frequency, which necessitates regeneration of hundreds or thousands of plants (12).

However, recent experiments with hybrid poplars have produced somaclonal variants that tolerate lethal dosages of the herbicides Roundup or Oust (sulfometuron methyl, Du Pont Co.). Plantlets of several different hybrid poplars have been shown to tolerate these herbicides *in vitro*, and plants have been regenerated *ex vitro* (13, 16). Herbicide tolerance of these plants is presently being tested in a greenhouse (16).

Similarly, research has been conducted to produce somaclonal variants of hybrid poplars that tolerate the major North American disease of poplars, Septoria leafspot-canker (17). In those tests, tissue culture plants of formerly susceptible poplar clones have shown characteristic responses of tolerant plants, based on *in vitro* and greenhouse bioassays. Some of these plants were established in the field in 1986 to determine whether they tolerate Septoria under normal forestry conditions.

Biotechnology is also being used in many laboratories to explore the fundamentals of tree development, for example, the genetic bases of maturation and regeneration phenomena. However, such research is so new that final results are uncertain.

## NEEDED SUPPORTING RESEARCH

Forest biotechnology research will progress most rapidly if greater emphasis is placed on ancillary but crucially important areas of forest biology research.

*Vegetative Regeneration*

Biotechnology often requires regeneration of plants after genetic modification *in vitro*, yet regeneration has been difficult to achieve with forest trees. Biotechnology cannot now be applied to many forest tree species, especially conifers and high quality hardwoods, because of a lack of high-frequency regeneration *in vitro* (1, 14). For example, some poplars can be regenerated from organ explants, callus, cells, and protoplasts (12, 13, 21), but conifers have only been regenerated at high frequency from juvenile tissues of seeds or very young seedlings (14). Regeneration of plants from individual cells or protoplasts may be required for some types of gene insertion and cellular hybridization *in vitro*. Such cellular-level regeneration of conifers and hardwoods is improving but still deficient (9, 10, 11, 14).

*Sexual Regeneration*

Information is also needed about the causes and controls of early and abundant flowering of forest trees. Like breeding, biotechnology ultimately depends on sexual mating. Biotechnology requires sexual mating to determine if introduced traits are only genetically based; to eliminate any non-genetic traits; to eliminate any unknowingly introduced, undesirable genetic traits; and to conveniently and cheaply transfer new gene combinations into other populations of a species (19).

*Gene Molecular Biology*

Direct gene insertion requires knowledge of gene structure and how genes express themselves biochemically because the genetic changes are precisely targeted. Such information is critically deficient for higher plants, non-existent for forest trees.

*Juvenile vs. Mature Performance*

Biotechnology, like conventional breeding, often requires an understanding of how the performance of juvenile trees relates to their mature performance. Without knowledge of such "juvenile-mature correlation" it may take years of field testing to determine the outcome of biotechnology, even if the underlying genetic manipulations required only weeks or months. However, our understanding of juvenile-mature correlations is only rudimentary.

*Genetic Diversity*

Application of biotechnology may also be limited by its "genetic scope" (19). For example, it does not seem that biotechnology can be used to manage genetic diversity, even though it has great potential for measuring, describing, and tracing genetic diversity by studying DNA segments. But research is required to determine how biotechnology might prevent or solve problems of insufficient genetic diversity in forest tree populations.

## CONCLUSION

Overall biotechnology is a long term research endeavor. But research that uses biotechnology will make important interim contributions to forestry and to our understanding of what makes forest trees productive. In total, these advances will serve forestry by providing the wherewithal to use genetic modification of forest trees to rapidly and specifically meet future demands for wood, fiber, energy, and chemical products.

Biotechnology can be fostered to better and more quickly achieve these ends. First, logical, cohesive, continuing forest biotechnology research programs are needed in the federal, university, and industrial sectors for efficient development of knowledge. Further development of such programs is essential if biotechnology is to significantly contribute to forestry. Second, supporting forestry research is critical for the efficient development of biotechnology. In order of priority, these ancillary subjects are: vegetative regeneration, gene molecular biology, juvenile-mature performance, sexual regeneration and genetic diversity.

Finally, biotechnology will not be acceptable in forestry unless it is accompanied by rigorous field testing of new cultivars. Therefore, a key to rapid development of forest biotechnology is workable guidelines for field testing and commercial release of new cultivars, consistent with environmental considerations. This is particularly required before private capital will flow into forest biotechnology.

## ACKNOWLEDGMENTS

I thank Dr. G.W. Kidd (Advanced Science Consultant, L. William Teweles, Inc., Milwaukee, WI) and Dr. S.L. Krugman (Director, Timber Management Research, USDA Forest Service, Washington, DC) for critical review of the manuscript.

This document reports research involving pesticides. It does not contain recommendations for their use, nor does it imply that the uses discussed here have been registered. All uses of pesticides in the U.S.A. must be registered by the appropriate State and/or Federal agencies before they can be recommended.

CAUTION: Pesticides can be injurious to humans, domestic animals, desirable plants, and fish or other wildlife -- if they are not handled or applied properly. Use all pesticides selectively and carefully. Follow recommended practices for disposal of surplus pesticides and pesticide containers.

## RÉSUMÉ EXECUTIF

*La biotechnologie est en train de prouver rapidement qu'elle est capable de créer des cultivars d'arbres forestiers précieux et exceptionnels. Les recherches actuelles portent sur la tolérance aux pesticides et aux produits chimiques et sur les produits chimiques; on commence à réaliser des recherches sur le taux de croissance, la régéneration végétative, la morphologie et les caractéristiques du bois. Au départ, ces recherches ont demandé énormement de temps et vise le long terme. Mais d'importants nouveaux cultivars seront bientôt mis à l'essai sur le terrain; les deuxièmes applications de la biotechnologie éxigeront beaucoup moins de temps.*

*Pour optimiser les résultats, la biotechnologie doit être intégrée aux programmes traditionnels d'amélioration génétique des arbres. C'est ainsi qu'on pourra rapidement améliorer les cultivars et accroître les connaissances scientifiques fondamentales nécessaires pour un plus grand progrès. Il faut aussi effectuer d'autres recherches dans les domaines de la régénération des plants, de la biologie moléculaire génétique, du rendement juvenile-adulte et de la diversité génétique.*

*On doit poursuivre à l'echelle mondiale les recherches en biotechnologie et dans des domaines connexes pour réaliser le reboisement d'extension et la reconstitution forestière de façon efficace.*

## INTRODUCTION

La biotechnologie forestière va des techniques destinées améliorer du point de vue biochimique les procédés industriels celles qui visent l'amélioration génétique de l'arbre dans son ensemble. Ce document passe brièvement en revue les possibilités et les succès de la biotechnologie en ce qui concerne la modification des caractéristiques génétiques de l'arbre dans son ensemble (voir aussi 14, 15, 19, 23).

Le grand avantage de la biotechnologie c'est qu'elle permet de procéder rapidement à une manipulation génétique des arbres, soit pour produire des cultivars améliorés soit pour décortiquer la base génétique de la productivité des arbres (19). En outre, la biotechnologie permet de créer des cultivars d'arbes forestiers qui ne peuvent être produits par la seule amélioration génétique traditionnelle. La biotechnologie forestière a pour principaux objectifs le taux de croissance des arbres, les caractéristiques du bois, la morphologie, la tolérance aux pesticides et aux produits chimiques et les produits chimiques secondaires.

Toutes les possibilités de la biotechnologie ne peuvent être déployées que dans des programmes d'amélioration génétique des arbres qui intègrent la biotechnologie et l'amélioration génétique traditionnelle (19). L'intégration passe par les deux principales bases de l'amélioration génétique, la recombinaison génétique et la sélection (figure 1). Des exemples de cette intégration ont été décrits récemment, comme l'utilisation de marqueurs moléculaires pour identifier les gènes afin de réduire les périodes normalement longues de reproduction des arbres forestiers (19).

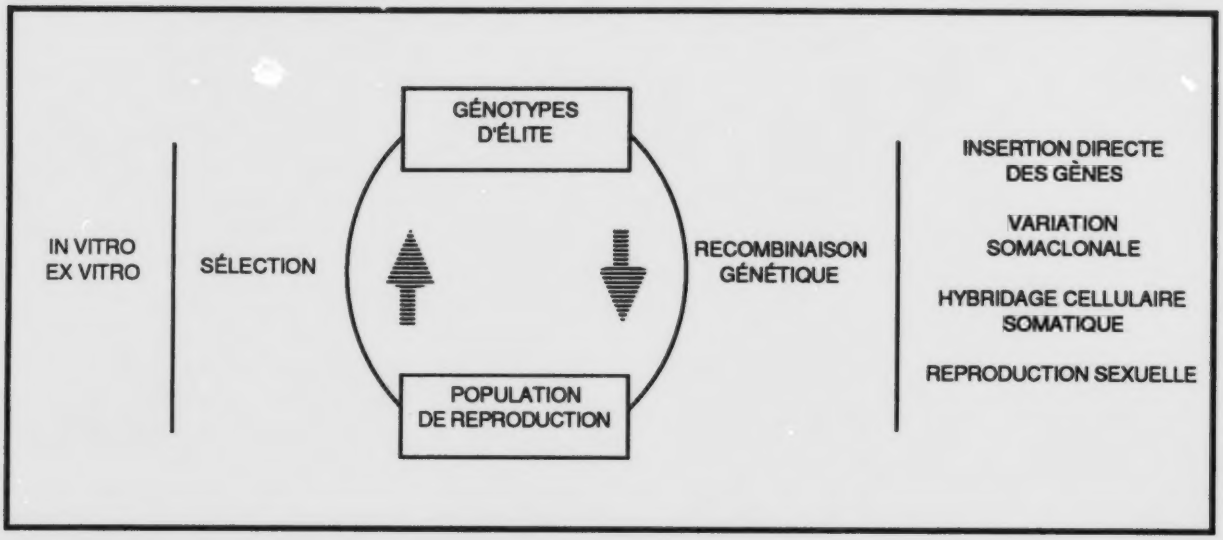


Figure 1. Schéma montrant l'utilisation intégrée de l'amélioration des arbres et de la biotechnologie pour l'amélioration génétique. Les biotechnologies comme l'insertion directe des gènes, la variation somaclonale et l'hybridation cellulaire somatique qui réalisent la recombinaison génétique, sont des analogues non sexués de la reproduction. La sélection suit toujours la recombinaison génétique et peut se faire *in vitro* (habituellement en biotechnologie) ou *ex vitro* (habituellement en génétique).

La plus grande contribution de la biotechnologie c'est peut-être de nous avoir apporté des connaissances de base, même si on s'intéresse beaucoup en ce moment à appliquer directement la biotechnologie à l'amélioration des arbres (19). Toutes les approches dans le domaine de la reproduction et les secteurs connexes de la biologie forestière tirent profit des nouvelles connaissances de base sur la structure, la fonction et la régulation des gènes des plants. Les nouvelles connaissances permettront probablement de trouver des solutions efficaces aux vieux problèmes biologiques relatifs aux arbres forestiers, par exemple comment contrôler et abréger la phase juvénile, pour favoriser une floraison hâtive et la production de graines. Ces connaissances pourraient accélérer l'amélioration génétique des arbres forestiers par la reproduction et la biotechnologie, ce qui permettrait des augmentations plus rapides de la productivité des arbres.

## SUCCÈS REMPORTÉS PAR LA BIOTECHNOLOGIE DES ARBRES FORESTIERS

On a fait la preuve à l'aide de certaines espèces de plantes expérimentales (p. ex., tabac, pétunia) que la biotechnologie pouvait servir à la modification génétique de certaines caractéristiques contrôlées par un ou peut-être plusieurs gènes. Ces modifications génétiques ont été réalisées par plusieurs types d'insertions directes de gènes (19). De ces modifications, seules la transformation génétique médiat induite par *Agrogacterium* et la sélection de culture tissulaire (appelée somaclonale) ont été utilisées avec succès chez les arbres forestiers. Toutefois, ces premiers succès sont de bon augure pour la biotechnologie des arbres forestiers.

Chez les arbres forestiers, on a signalé que la portion du plasmide Ti (T-ADN) de la bactérie *Agrobacterium tumefaciens*, normalement responsable du cancer végétal, et les petits gènes qui confèrent la tolérance aux antibiotiques ou aux herbicides, produisent des transformations génétiques (3, 6, 7, 8, 18, 22). Dans une de ces études, les plants transformés ont été régénérés à l'aide de cultures *in vitro* (6, 7, 8). Dans cette étude, un gène bactérien responsable de la tolérance à l'herbicide Roundup non spécialisé (glyphosate, Monsanto Co.) a été inoculé à un peuplier hybride. On a observé au cours d'essais de pulvérisation en serre que les peupliers morphologiquement normaux, mais génétiquement transformés, toléraient mieux le Roundup que les plants témoins non transformés (20). Il reste maintenant à obtenir une tolérance valable pour le marché.

La variation génétique peut être intentionnellement recherchée pendant le processus de culture tissulaire, pour produire des plants appelés variants somaclonaux. Ceux-ci peuvent se produire lorsque des plants sont régénérés à l'aide de tissus *in vitro* à cause des changements qui se produisent dans l'ADN non dénaturé, notamment la mutation génétique (2, 4, 5). La sélection somaclonale a été utilisée surtout chez des espèces herbacées facilement régénérées parce que des variants génétiques utiles et spécifiques se produisent seulement à faible fréquence, ce qui néccessite la régénération de centaines ou de milliers de plants (12).

Toutefois, lors d'expériences récentes réalisés avec des peupliers hybrides, on a produit des variants somaclonaux qui tolèrent les dosages l'étaux des herbicides Roundup ou Oust (méthyle de sulfométuron, Du Pont Co.). On a montré que des plantules de plusieurs spécimens de différents peupliers hybrides toléraient ces herbicides *in vitro* et que des plants avaient été régénérés *ex vitro* (13, 16). On met à l'essai actuellement dans une serre la tolérance aux herbicides de ces plants (16).

Par ailleurs, des recherches ont été faites pour produire des variants somaclonaux de peupliers hybrides qui tolèrent la principale maladie nord-américaine du peuplier, le chancre et la tache des feuilles *(Septoria)* (17). Au cours de ces essais, on a observé que des plants produits par la culture tissulaire de clones de peupliers anciennement vulnérables présentaient les réponses caractéristiques observées chez les plants tolérants lors des essais réalisés en serre et *in vitro*. Certains de ces plants ont établis sur le terrain en 1986 pour déterminer s'ils toléraient *Septoria* dans des conditions forestières normales.

De nombreux laboratoires utilisent également la biotechnologie pour explorer les aspects fondamentaux du développement des arbres, par exemple, les bases génétiques de la maturation et des phénomènes de régénération. Toutefois, cette recherche est tellement nouvelle que les résultats finals sont incertains.

## RECHERCHE DE SOUTIEN NÉCESSAIRE

La recherche en biotechnologie forestière progressera très rapidement si on met davantage l'accent sur des domaines connexes, mais extrêmement importants, de la recherche en biologie forestière.

*Régénération Végétative*

La biotechnologie exige souvent la régénération des plants après la modification génétique *in vitro*, cependant la régénération a été difficile a réaliser avec les arbres forestiers. La biotechnologie ne peut être appliquée actuellement à de nombreuses essences forestières, spécialement les conifères et les feuillus de haute qualité, á cause de l'absence de régénération à haute fréquence *in vitro* (1, 14). Par exemple, certains peupliers peuvent être régénérés à l'aide d'explants d'organes, de cals, de cellules et de protoplastes (12, 13, 21), mais les conifères ont été régénérés seulement à haute fréquence à l'aide de tissus juvéniles de graines ou de plantules très jeunes (14). La régénération de plants à l'aide de cellules ou de protoplastes individuels peut être nécessaire pour certains types d'insertion de gènes et d'hybridation *in vitro*. Cette régénération des conifères et des feuillus au niveau cellulaire est en voie d'amélioration, mais comporte toujours des lacunes (9, 10, 11, 14).

*Régénération Sexuelle*

On doit aussi mieux connaître les causes et les mécanismes de la floraison hâtive et abondante des arbres forestiers. Comme l'amélioration génétique, la biotechnologie dépend en dernier ressort de la reproduction sexuée pour déterminer si les caractéristiques introduites ont une hérédité uniquement génétique; pour éliminer les caractéristiques non génétiques; pour éliminer toute caractéristique génétique indésirable, introduite par inadvertance; et pour transférer sans inconvénient et à peu de frais de nouvelles combinaisons de gènes dans d'autres populations d'une espèce (19).

*Biologie Moleculaire Génétique*

Pour procéder à l'insertion directe des gènes, il faut connaître la structure des gènes et comment ceux-ci s'expriment du point de vue biochimique parce que les changements génétiques sont précisément visés. Ces informations comportent de graves lacunes pour les plantes supérieures, et n'existent même pas pour les arbres forestiers.

*Rendement Juvénile-adulte*

La biotechnologie, à l'instar de l'amélioration génétique traditionnelle, oblige souvent le chercheur à comprendre les liens qui existent entre le rendement des arbres en bas âge et celui qu'ils auront à maturité. Quand on ne connaît pas ces "corrélations juvéniles-adultes", il faut des années d'essais sur le terrain pour déterminer les résultats de la biotechnologie, même si les manipulations génétiques sous-jacentes ne demandent que quelques semaines ou quelques mois. Toutefois, notre compréhension des corrélations juvéniles-adultes est rudimentaire.

*Diversité Génétique*

L'application de la biotechnologie peut aussi être limitée par sa "portée génétique" (19). Par exemple, on ne peut pas, semble-t-il, utiliser la biotechnologie pour gérer la diversité génétique, même si elle a de grandes possibilités pour la mesure, la description et le retraçage de la diversité génétique par l'étude des segments de l'ADN.

Cependant, il faut poursuivre les recherches pour déterminer comment la biotechnologie peut prévenir ou régler les problèmes de la diversité génétique insuffisante chez les populations d'arbres forestiers.

## CONCLUSION

La biotechnologie dans son ensemble est une tentative de recherche à longue échéance. Cependant, la recherche qui utilise la biotechnologie fera d'importantes contributions entre temps à la foresterie et nous permettra de mieux comprendre les facteurs qui rendent les arbres forestiers productifs. Dans l'ensemble, ces progrès permettront aux entreprises forestières d'utiliser les modifications génétiques des arbres forestiers pour répondre rapidement et spécifiquement à la demande future en bois, fibres, énergie et produits chimiques.

La biotechnologie, si l'on favorise son développement, peut servir à atteindre ces buts, mieux et plus rapidement. En premier lieu il est nécessaire que le gouvernement fédéral, les universités et les industries maintiennent des programmes de recherche permanents, cohérents et logiques en biotechnologie forestière pour accroître efficacement nos connaissances. Il est essentiel que ces programmes soient élaborés plus avant si on veut que la biotechnologie fasse progresser la foresterie. En deuxième lieu, la recherche d'appoint en foresterie est cruciale pour le développement efficace de la biotechnologie. En ordre de priorité, ces sujets connexes sont: la régénération végétative, la biologie moléculaire génétique, le rendement juvénile-adulte, la régénération sexuelle et la diversité génétique.

Finalement, la biotechnologie ne sera pas utile en foresterie, à moins qu'elle ne soit accompagnée par des essais rigoureux sur le terrain portant sur de nouveaux cultivars. Par conséquent, si l'on veut que la biotechnologie forestière se développe rapidement, il faut établir des lignes directrices pratiques pour les essais sur le terrain et le lancement de nouveaux cultivars sur le marché, en tenant compte des paramètres écologiques. Cela est particulièrement nécessaire avant que des capitaux privés ne soient investis dans la biotechnologie forestière.

## REMERCIEMENTS

Je remercie le D[r] G.W. Kidd (Advanced Science Consultant, L. William Teweles, Inc., Milwaukee, WI) et le D[r] S.L. Krugman (directeur, Timber Management Research, USDA Forest Service, Wasthington, DC) qui ont révisé le manuscrit.

Ce document fait état des recherches menées sur des pesticides. Il ne contient aucune recommandation quant à leur utilisation, et ne sous-entend pas non plus que les pesticides utilisés ont été homologués. Tous les pesticides employés aux États-Unis doivent être homologués par les organismes appropriés des États ou du gouvernement fédéral avant d'être recommandés.

AVERTISSEMENT: Les pesticides peuvent être nuisibles aux humains, aux animaux domestiques, aux plantes, aux poissons et aux autres organismes vivants s'ils ne sont pas manipulés ni épandus de façon appropriée. Il faut utiliser tous les pesticides avec précaution et sélectivité. Il faut suivre les méthodes recommandées pour l'élimination des pesticides en surplus et des contenants de pesticides.

## RESUMEN EJECUTIVO

*La biotecnología está rápidamente produciendo resultados positivos con respecto a la generación de variedades únicas y valiosas de árboles forestales. Las investigaciones actuales sobre los árboles están enforcadas en el desarrollo de tolerancias contra pestes y substancias químicas y en la producción de productos químicos. Además, las investigaciones sobre la razón de crecimiento, la regeneración vegetativa, la morfología y las características de la madera están comenzando. Inicialmente, tales investigaciones han tomado mucho tiempo para lograr resultados a largo plazo. Pero nuevas variedades importantes de árboles serán comprobadas pronto en el campo, y las siguientes aplicaciones de la biotecnología exigirán mucho menos tiempo.*

*Para optimizar los mejoramientos genéticos, la biotecnología debe integrarse con los métodos convencionales de la cría de árboles. Los métodos integrados producirán más pronto las variedades mejoradas y los conocimientos científicos necesarios para lograr más progreso. Las investigaciones ancilares son también necesarias en los campos de la regeneración de plantas, la biología molecular de los genes, el funcionamieto comparativo de los árboles jóvenes y maduros, y la diversidad genética.*

*El desarrollo continuo de ala biotecnología y las investigaciones suplementarias son necesarios al nivel mundial para realizar efectivamente la aforestalación y la reforestación.*

## INTRODUCCIÓN

La biotecnología forestal incluye ténicas desde el mejoramiento bioquímico de los procesos industriales hasta el mejoramiento genético del árbol entero. Este informe resume en breve el potencial y los logros de la biotecnología en cuanto a la modificación de las características genéticas del árbol entero [cf. (14, 15, 19, 23)].

El potencial más importante de la biotecnología consiste en la manipulación genética rápida de los árboles, con objeto o de producir variedades mejoradas o de comprender en detalle el base genético de la productividad del árbol (19). Además, la biotecnología tiene el potencial de producir variedades de árboles forestales que no se pueden producir solamente por medio de la cría convencional de árboles. Las metas principales de la biotecnología con respecto a la silvicultura son la razón de crecimiento del árbol, las características de la madera, la morfología, las tolerancias contra las pestes. las tolerancias a substancias químicas, y la producción de productos químicos secundarios.

Es posible que el potencial completo de la biotecnología se podrá realizar sólo en los programas para el mejoramiento genético de los árboles que integran la biotecnología y la cría convencional (19). Las bases de tal integración son las mismas como las bases principales del mejoramiento genética -- la selección y la recombinación genético (Fig. 1). Recientemente se han descrito tales ejemplos de al integración como el uso de marcadores moleculares para identificar a los genes a fin de disminuir las duraciones normalmente largas necesarias para la cría de árboles forestales.

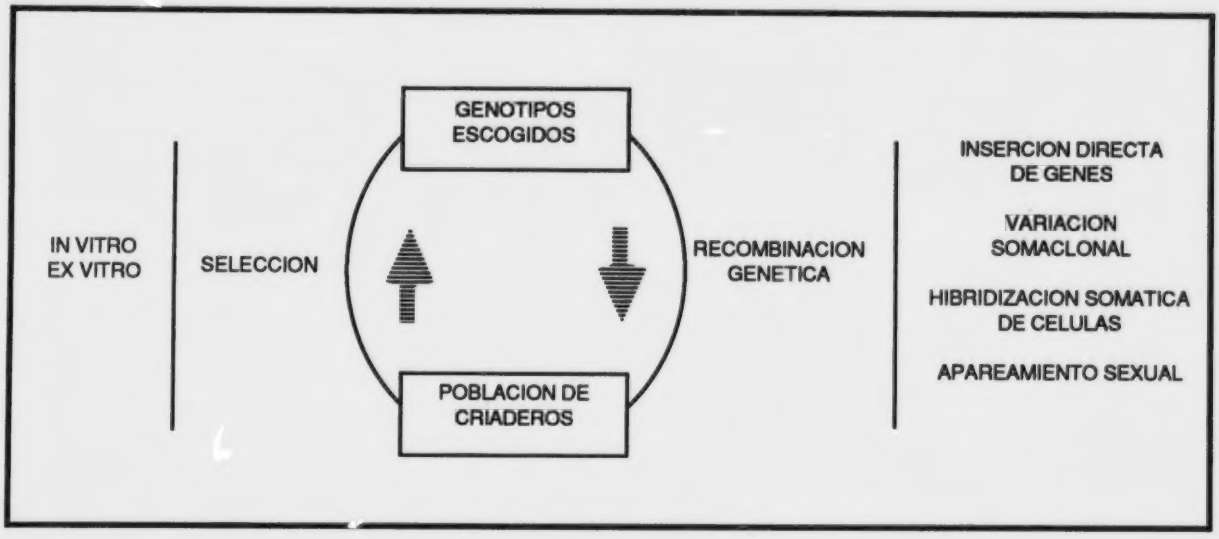


Figura 1. Diagrama esquematico del uso integrado de la cria de arboles y la biotecnologia para el mejoramiento genetico. Tales tecnicas de la biotecnologia como la insercion directa de genes, la variacion somaclonal y la hibridizacion somatica de celulas, las cuales producen la recombinacion genetica, son los analogos no sexuales de la cria (el apareamiento). La seleccion siempre sigue la recombinacion genetica, que puede producirse o in vitro (generalmente en la biotecnologica) o ex vitro (generalmente en la cria).

Es posible que la contribución más importante de la biotecnología será los conocimientos básicos, aunque actualmente existe mucho interés en la aplicación directa de la biotecnología al mejoramiento de los árboles (19). Tano los métodos de la cría como los campos relacionados de la biología forestal están beneficiando de los nuevos conocimientos básicos con respecto a la estructura, el funcionamiento y la regulación de los genes de plantas. Es probable que los conocimientos nuevos resulten en soluciones efectivas a tales antiguos problemas biológicos de los árboles forestales como la regulación y el acortamiento de las fase juvenil a fin de fomentar la producción más temprana de las flores y las semillas. Tales conocimientos acelerarían el mejoramiento genético de los árboles forestales por medio de la cría y la biotecnología, de tal modo produciento aumentos más rápidos en la productividad de los árboles.

## LOS LOGROS DE LA BIOTECNOLOGÍA DE LOS ÁRBOLES FORESTALES

La eficacia de la biotecnología se ha comprobado en varias especies de las plantas experimentales (p. ej. el tabaco y la petunia) por medio de la modificación genética de los rasgos regulados a través de uno o de pocos genes. Tales modificaciones genéticas se han realizado a través de varios métodos de inserción directa de genes (19). Entre estos métodos, sólo la transformación genética, usando el *Agrobacterium* como mediador, y la selección de los cultivos de tejidos (llamada la selección somaclonal) han sido empleados en los árboles forestales con buen éxito. Sin embargo, estos logros iniciales son un buen presagio del futuro de la biotecnología de los árboles forestales.

Con respecto a los árboles forestales, hay informes del uso del *Agrobacterium tumefaciens* para producir transformaciones genéticas, tanto en la porción del plásmida Ti (T-DNA) que normalmente causa los tumores de la agalla, como en los genes que producen tolerancia contra los antibióticos y los herbicidas (3, 6, 7, 8, 18, 22). En uno de estos estudios, las plantas transformadas se regeneraron a base de cultivos *in vitro* (6,7, 8). En este estudio, un gen bacterial que produce tolerancia contra el Roundup (glifosato, Monsanto Co.), herbicida de aplicación general, se introdució en un álamo híbrido. Los álamos producidos fueron morfológicamente normales pero genéticamente transformados, y se demostró por medio de pruebas de rociada en invernáculos que tienen mejor tolerancia contra el Roundup que las plantas testigos no tansformadas (20). Aún no se ha producido una tolerancia comercialmente significativa.

Se puede tratar de obtener la variación genética durante el cultivo de tejidos, produciendo plantas que se llaman variantes somaclonales. Las variantes somaclonales pueden provenir de la regeneración de plantas a partir de tejidos *in vitro* como resultado de cambios en el ADN nativo, incluso la mutación de genes (2, 4, 5). La selección somaclonal se ha empleado principalmente en las especies herbáceas que se regeneran fácilmente porque las variantes genéticas específicas y útiles ocurren sin frecuencia, necesitando la regeneración de cientos o miles de plantas (12).

Sin embargo, experimentos recientes con álamos híbridos han producido variantes somaclonales con tolerancia contra dosis letales de los herbicidas Roundup y Oust (metilo de sulfometuron, Du Pont Co.). Se demonstró que las plantas jóvenes de varios distintos álamos híbridos tienen tolerancia contra estos herbicidas *in vitro* y las plantas se han regenerado *ex vitro* (13, 16). La tolerancia de estas plantas contra los herbicidas está bajo investigación en un invernáculo (16).

Semejantemente, se condujeron investigaciones a fin de producir álamos híbridos que tienen tolerancia contra una enfermedad importante de los álamos notreamericanos, el cancro de hojas manchadas causada por la Septoria (17). En estas pruebas a base de bioensayos *in vitro* y en los invernáculos, las plantas producidas a partir de los cultivos de tejidos de los clonos de álamos anteriormente susceptibles han demostrado las respuestas características de las plantas tolerantes. Algunas de estas plantas se establecieron en el campo en 1986 a fin de determinar si tienen telerancia contra la Septoria bajo condiciones normales de la silvicultura.

La biotecnología también se está usando en muchos laboratorios para investigar los fundamentos del desarrollo de los árboles, p.ej. la base genética de los fenómenos de maduración y regeneración. Sin embargo, tales investigaciones son tan nuevas que los resultados finales aún son inciertos.

## INVESTIGACIONES SUPLEMENTARIAS NECESARIAS

Las investigaciones sobre la biotecnología forestal progresarán más rápidamente si se da más énfasis a los aspectos ancilares pero críticamente importantes de las investigaciones sobre la biología forestal.

*La regeneración Vegetativa*

La biotecnología a menudo aprovecha la regeneración de las plantas después de su modificación genética *in vitro*, pero ha sido difícil realizar la regeneración de los árboles

forestales. No se puede aplicar la biotecnología a muchas especies de árboles forestales, particularmente los coníferos y los latifoliados de alta calidad, a causa de la falta de regeneración a alta razón *in vitro* (1, 14). Por ejemplo, se puede regenerar varios álamos a partir de los explantes de órganos, los callos, las células y los proteoplastos 912, 13, 21), pero los coníferos se han regenerado a alta razón sólo a partir de los tejidos juveniles de semillas o las plantas muy jóvenes (14). La regeneración de las plantas a partir de las células invididuas puede ser necesaria para ciertos tipos de inserción de genes e hibridización celular *in vitro*. Tal regeneración de las especies coníferas y latifoliadas al nivel celular está mejorando pero aún esta' deficiente (9, 10, 11, 14).

*Regeneración Sexual*

También se necesitan conocimientos en cuanto a las causas y la regulación del florecimiento temprano y abundante de los árboles forestales. Como la cría, la biotecnología depende últimamente del apareamiento sexual. La biotecnología necesita el apareamiento sexual para determinar si los rasgos introducidos se basan solamente en la genética; para eliminar cualquier rasgo no genético; para eliminar cualquier rasgo genético indeseable introducido desconocidamente; y para transferir cómoda y baratamente las nuevas combinaciones de genes a otras poblaciones de una especie (19).

*La Biología Molecular de los Genes*

Porque los cambios genéticos son dirigidos precisamente, la inserción directa de los genes necesita conocimientos de la estructura del gen y de los medios por los cuales los genes se expresan bioquímicamente. Tales conocimientos son críticamente deficientes con respecto a las altas plantas y no existen del todo con respecto a los árboles forestales.

*El Funcionamiento Juvenil Contra el Funcionamiento Maduro*

La biotecnología, como la cría convencional, a menudo necesita la adquisición de conocimientos en cuanto a la relación entre el funcionamiento de los árboles juveniles y maduros. Sin tales conocimientos de las "correlaciones juvenil-maduro", la determinación de los resultados de las operaciones biotecnológicas puede necesitar años de pruebas en el campo, aun cuando las manipulaciones genéticas originales necesitaron sólo unas semanas o meses. Sin embargo, nuestros conocimientos en cuanto a las correlaciones juvenil-maduro son sólo rudimentarios.

*La Diversidad Genética*

Las aplicaciones de la biotecnología pueden ser limitadas por su "alcance genético" (19). Por ejemplo, parece que no se puede usar la biotecnología para manipular la diversidad genética, aunque tiene un gran potencial para medir, describir y rastrear la diversidad genética por medio del estudio de segmentos de la ADN. Pero investigaciones son necesarias para determinar cómo la biotecnología podría impedir o resolver los problemas de la insuficiencia de diversidad genética en las poblaciones de los árboles forestales.

## CONCLUSIÓN

En general, los avances en la biotecnología representan esfuerzos de investigación a largo plazo. Entretanto investigaciones a base de la biotecnología contribuyen significativamente

a la silvicultura y a nuestros conocimientos en cuanto a los factores que determinan la productividad de los árboles forestales. En su totalidad estos adelantos servirán bien a la silvicultura proporcionanco métodos para la modificación genética de los árboles forestales a través de los cuales se pueden satisfacer rápida y específicamente las demandas futuras de la madera, la fibra, la energía y los productos químicos.

Se puede formentar la biotecnolgía para realizar estos fines mejor y más pronto. Primeramente, programas lógicos, coherentes y continuos de investigaciones biotecnológicas son necesarias en los sectores federal, universitario e industrial para desarrollar los conocimientos eficientemente. El desarrollo adicional de tales programas es esencial para que la biotecnología contribuya significativamente a la silvicultura. Segundamente, las investigaciones silviculturales suplementarias son críticas para el desarrollo eficiente de la biotecnología. En su orden de prioridad, estos temas suplementarios son: la regeneración vegetativa, la biología molecular de los genes, el funcionamiento juvenil-maduro, la regeneración sexual, y la diversidad genética.

Ultimamente, la biotecnología no sería aceptable en la silvicultura a menos que fuera acompañada con pruebas rigurosas de nuevas variedades en el campo. Por eso, una clave para el desarrollo rápido de la biotecnología forestal es la formulación de normas practicables para la prueba de nuevas variedades en el campo y el permiso para su distribución comercial, consistentemente con consideraciones ambientales. Esta consideración es particularmente importante para fomentar el flujo de capital privado en la biotecnología forestal.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al señor doctor G.W. Kidd (Consultor de Ciencias Avanzadas, L. William Teweles, Inc., Milwaukee, Wisconsin, EE.UU.) y al señor doctor S.L. Krugman (Director de Investigaciones sobre el Manejo de Bosques, Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los EE.UU., Washington, D.C.) por su revista crítica del manuscrito.

Este documento es un informe de investigaciones sobre los pesticidas. No contiene recomendaciones en cuanto a su uso, y no da a entender que los usos discutidos aquí han sido registrados. Todas las aplicaciones de los pesticidas en los EE.UU. se deben registrar ante las agencias estatales o federales apropiadas antes de que su uso pueda recomendarse.

ADVERTENCIA: Los pesticidas, si no se manipulan o aplican convenientemente, pueden causar daños a los humanos, los animales domésticos, las plantas deseables, los peces y otros tipos de vida silvestre. Todos los pesticidas deben usarse selectiva y cuidadosamente. Los procedimientos recomendados para deshacerse de los pesticidas sobrantes o de sus envases se debe seguir cuidadosamente.

## REFERENCES/OUVRAGES/BIBLIOGRAFÍA

(1) Berlyn, G.P., R.C. Beck and M.H. Renfroe. 1986. Tissue culture and the propagation and genetic improvement of conifers: problems and possibilities. Tree Physiol. 1:227-240.

(2) Chaleff, R.S., and T.B. Ray. 1984. Herbicide-resistant mutants from tobacco cell cultures. Science 223:1148-1151.

(3) Dandekar, A.M., P.K. Gupta, D.J. Durzan and V. Knauf. 1987. Transformation and foreign gene expression in micropropagated Douglas fir (Pseudotsuga menziesii). Bio-Technology 5:587-590.

(4) Evans, D.A., and W.R. Sharp. 1983. Single gene mutations in tomato plants regenerated from tissue culture. Science 221:949-951.

(5) Evans, D.A., and W.R. Sharp. 1986. Applications of somaclonal variation. Bio-Technology 4: 528:532.

(6) Fillatti, J.J., B.H. McCown, J. Sellmen and B. Haissig. 1986. The introduction and expression of a gene conferring tolerance to the herbicide glyphosate in Populus NC 5339. In Proc. Tech. Assoc. Pulp and Paper Industry. 1986 Res. and Dev. Conf., Raleigh, North Carolina, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, p. 83-84.

(7) Fillatti, J.J., B. Haissig, B. McCown, L. Comai and D. Riemenschneider. 1987. The development of glyphosate tolerant Populus plants through expression of a mutant aroA gene from Salmonella typhimurium. In Genetic Manipulation of Woody Plants (J.W. Hanover and D. Keathley, Ed.), Plenum Press, New York.

(8) Fillatti, J.J., J. Sellmer, B. McCown, B. Haissig and L. Comai. 1987. Agrobacterium mediated transformation and regeneration of Populus. Mol. Gen. Genet. 206:192-199.

(9) Gupta, P.K. and D.J. Durzan. 1985. Shoot multiplication from mature trees of Douglas fir (Pseudotsuga menziesii) and sugar pine (Pinus lambertiana). Plant Cell Rept. 4:177-179.

(10) Gupta, P.K. and D.J. Durzan. 1986. Isolation and cell regeneration of protoplasts from sugar pine (Pinus lambertiana). Plant Cell Rept. 5:346-348.

(11) Gupta, P.K. y D.J. Durzan. 1987. Biotechnology of somatic embryogenesis and plantlet regeneration in loblolly pine. Bio-Technology 5:147-151.

(12) Haissig, B.E. 1987. Tissue culture-based biotechnology for Populus clones. In Energy from Biomass and Wastes X (D.L. Klass, Ed.), Inst. Gas Technol., Chicago, Illinois, and Elsevier Applied Science Pub., London, p. 155-175.

(13) Haissig, B.E. and D.E. Riemenschneider. 1987. Genetic engineering of hybrid poplars for herbicide tolerance. In Proc. For. Products Res. Conf. 1986 -- Matching Utilization Res. with the Needs of Timber Managers, 21-23 October, 1986. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, p. 37-46.

(14) Haissig, B.E., N.D. Nelson and G.H. Kidd. 1987. Trends in the use of tissue culture in forest improvement. Bio-Technology 5:52-59.

(15) Hanover, J.W. 1987. Applications of biotechnology in forest tree improvement. In Proc. 19th Southern For. Tree Improv. Conf., Publ. No. 41, Southern For. Tree Improv. Committee, College Station, Texas, p. 59-70.

(16) Michler, C.H. and B.E. Haissig. 1987. Somaclonal selection of hybrid poplars that tolerate herbicides. In Proc. IUFRO Working Party on Somatic Cell Genet. Grosshansdorf, West Germany.

(17) Ostry, M.E. and D.D. Skilling. 1987. Somaclonal variation in hybrid poplars for resistance to Septoria leaf spot. In Proc. 5th North Central Tree Improv. Conf., 10-12 August, Fargo, N.D.

(18) Parsons, T.J., V.P. Sinkar, R.F. Stettler, E.W. NsEter and M.P. Gordon. 1986. Transformation of poplar by Agrobacterium tumefaciens. Bio-Technology 4:533-536.

(19) Riemenschneider, D.E., B.E. Haissig and E.T. Bingham. 1987. Integrating biotechnology into woody plant breeding programs. Genetic Manipulation of Woody Plants (J.W. Hanover and D. Keathley, Ed.), Plenum Press, New York.

(20) Riemenschneider, D.E., B.E. Haissig, J.J. Fillatti and J. Sellmer. 1987. Expression of a herbicide tolerance gene in young plants of a transgenic hybrid poplar clone. In Proc. IUFRO Working Party on Somatic Cell Genet. Grosshansdorf, West Germany.

(21) Russell, J.A. and B.H. McCown. 1986. Techniques for enhanced release of leaf protoplasts in Populus. Plant Cell Rept. 5:284-287.

(22) Sederoff, R., A. Stomp, W.S. Chilton and L.W. Moore. 1986. Gene transfer into loblolly pine by Agrobacterium tumefaciens. Bio-Technology 4:647-649.

(23) Torrey, J.G. 1985. The development of plant biotechnology. Amer. Sci. 73:354-363.

# REMOTE SENSING IN CANADIAN FORESTRY: CURRENT STATUS AND TRENDS

# LA TÉLÉDÉTECTION ET LA FORESTERIE CANADIENNE: SITUATION ET TENDANCES

# DETECCIÓN REMOTA EN LA SILVICULTURA CANADIENSE: TENDENCIAS Y SITUACION ACTUEL

Donald G. Leckie
Government of Canada
Canadian Forestry Service
Petawawa National Forestry Institute
Chalk River, Ontario, Canada
K0J 1J0

## EXECUTIVE SUMMARY

*Remote sensing is a major source of forest information for inventory and analysis, protection, and silvicultural management. Requirements, current procedures, and the current status of remote sensing applications in each of these areas is reviewed. Future possibilities for practical remote sensing techniques are examined. Current and future developments are presented in the context of the changing requirements and conditions in Canadian forestry. These include an increased intensity of forest management, a rapidly developing technological infrastructure, use of Geographic Information Systems for forest inventory and planning, and a growing integration of data and knowledge in decision support systems for forest management.*

## INTRODUCTION

Remote sensing is the primary tool for acquiring information regarding the spatial distribution of Canada's forests. Conventional remote sensing in the form of aerial photographic interpretations is the major remote sensing technique in use. Digital remote sensing has been extensively researched and developed over the past 10 to 15 years. Considering the typical timelag for developing and transferring new technologies to operational use, we should be entering a period when more digital remote sensing will begin to be used operationally. There are several trends and technological advances both in forestry and remote sensing which are leading to increased potential and use of digital remote sensing techniques.

There is a trend towards more intensive forest management. This leads to a need for more detailed and up-to-date forestry information. Management decisions become more complex and require greater ease of manipulation of data and integration of data and knowledge from a variety of sources. There are also increasing pressures to consider environmental, wildlife, recreational, and other factors more intensively. This further increases the demand for information and demand for capabilities to use information more effectively.

The technological infrastructure of Canada's forest management community is developing rapidly. The widespread use of Geographic Information Systems (GIS) is a major component of this developing infrastructure. GIS enhances the forest manager's ability to efficiently manipulate and integrate data. In turn, the increased use of this data in management decisions necessitates that the data be more detailed and up-to-date. Remote sensing is, therefore, affected in two ways: firstly, the increased demand for techniques to provide information and, secondly, the increased appropriateness of digital remote sensing data, which have the advantage of being compatible with the digital format of GIS databases. A second important development in technological infrastructure is the increasing use of computer models to assist in decision making. Further developments such as the packaging of models, data, and management procedures into computer-based decision support systems is increasing the effectiveness of forest management. Use of artificial intelligence techniques such as expert systems, which incorporate knowledge and management rules, will further assist decision making in the future. The trend towards increasing power and decreasing cost of computer hardware will accelerate implementation of computer technology in forest management. A result of this technological infrastructure is that powerful

management tools are becoming available to local field managers. Both centralized and decentralized databases and forest management can be supported. Another consequence of these trends is that an infrastructure will be in place which is conducive to the use of digital remote sensing techniques.

Significant advances are being made in remote sensing technology. Airborne linear array multispectral scanners (pushbroom scanners) offer high spatial resolution, high radiometric sensitivity, and flexible choice of wavelength bands. A critical breakthrough is the use of inertial navigation system (INS) data to geometrically correct airborne data to cartographic coordinates. This greatly facilitates integration of the data or interpretations of the data with other data such as forest inventories on a GIS. The new generation of earth resource satellite sensors [i.e., Landsat Thematic Mapper (TM) and SPOT Haute Resolution Visible (HRV)] have increased spatial resolution over the earlier Landsat multispectral scanner (MSS). Imagery is of a quality such that interpretations can almost be made at a stand level.

With these trends and developments there is a considerable potential and need to increase the effectiveness and use of remote sensing techniques in forestry.

## INVENTORY

There are four major types of forest inventory in Canada: management inventories, operational inventories, reconnaissance inventories, and a national forest inventory. Management inventories are for management and planning purposes, and are generally the responsibility of the provinces which have jurisdiction over and manage most of Canada's productive forest area. These inventories give the location and volume of wood of different types and use aerial photography as the means of stratifying and mapping forest type. Operational inventories are generally conducted before forestry operations are undertaken. These primarily consist of field cruises. The cruises are based on the stand maps of the management inventories and sometimes the management inventory photography is interpreted for operational purposes. Reconnaissance and other types of extensive inventories are conducted in Canada's less productive forests, such as the northern forests. Both aerial photography and satellite data are used. Canada's national forest inventory is derived from the provincial management inventories or reconnaissance inventories.

### *Management Inventory*

Management inventories cover approximately 1.8 million $km^2$ of Canada's forest land (1). Inventories are typically conducted on a 10- to 20-year cycle. Requirements for these inventories vary from province to province but can be generalized as follows: species proportions, height class (e.g., 5 m classes), density or stocking (often four classes), age or development class (commonly four classes), and three to six site classes which indicate expected growth rates. Volume estimates are compiled using the stratification of the inventory map and tree volume equations derived from ground samples. The inventory map data is derived from interpretation of 1:10,000 to 1:20,000 panchromatic black and white, normal colour, or black and white infrared photographs. Inventory maps are at a scale of 1:10,000 to 1:20,000. Four provinces have implemented or are in the process of implementing their inventories on a GIS system. British Columbia and New Brunswick have had considerable experience operating with their inventory on a GIS (2,3). Most other provinces have acquired GIS and intend to eventually implement their inventories on GIS.

These management inventories are, for the most part, satisfactory, with the main inaccuracies being in volume estimates due to small sample sizes, and photointerpretation errors. The major difficulty with the inventories are the high costs of implementing them over large areas. Typical costs are $0.40 to $0.60/ha (4), with approximately half of this cost related to data acquisition interpretation, and production of the forest inventory maps.

Digital remote sensing is not used routinely in the production of management inventories. Classifications and enhancements of Landsat MSS data are of limited value due to the requirements for detailed forest information. Only broad classes of forest type can be consistently identified. The spatial resolution of the new generation of satellites (e.g., Landsat Thematic Mapper and SPOT) provides forest interpretations at a spatial detail approaching the stand level. Although giving better forest interpretation capabilities, they will not provide the detail of information sufficient for input to management inventories. Satellite data, however, can be a valuable tool for providing an overview of patterns of forest vegetation that are useful for inventory mapping. An example would be identifying patterns of old burns and ascribing similar ages to stands within the burns.

In order to determine the forest information required for management inventories, imagery capable of being interpreted on an individual tree basis is needed. For this reason medium scale aerial photography is used for forest interpretation and mapping. Recent trends are towards the use of normal colour photography as opposed to panchromatic black and white photography. The scale of photography being used is increasing, with several provinces using scales of 1:10,000 or 1:12,500. High resolution airborne multispectral scanner data have shown potential for assisting in forest type mapping (5) and is a technology worth pursuing as an alternative to aerial photography for inventory mapping. Three technological developments are key factors in making such an application of digital airborne imagery a possibility. The first is the development of linear array imagers such as the MEIS (Multispectral Electro-optical Imaging Scanner) (6). These imagers use a linear array of charge coupled devices to digitally record an image as opposed to a single detector used in optical-mechanical scanners (the technology used in most current airborne scanners). Linear array imagers have the advantage of high spatial resolution (down to 0.3 m with most aircraft systems), good radiometric resolution (approximately 100 times greater than optical-mechanical airborne scanners), ability to record images in narrow wavelength bands (e.g., 3 nm wide bands), and flexibility in wavelength choice (wavelength is selected by interchangeable filters). A second key factor is the development of techniques using inertial navigation system data from the aircraft to assist in geometrically correcting the airborne imagery to cartographic coordinates (7). The third key development is production of stereo imagery from airborne scanner data (7). Stereo imagery can be produced by a linear array scanner with one channel of data looking forward and a second aft. Using the geometric correction capability, a stereo pair can be generated. Visual estimation of tree or stand height is possible. Automated determination of height is a possibility.

Therefore, digital enhancements of high resolution imagery ($< 1.2$ m) appropriate for detailed visual interpretation could be produced. The spectral bands and enhancement procedures could be optimized for species discrimination. Automated classification and interpretation, although fraught with technical difficulties, may also be feasible. Height estimates can be made from the stereo imagery. Because the data can be geometrically corrected, interpretations can be automatically related to inventory base maps, thus eliminating the costly step of manually transferring data to a base map. Key to this advantage is having the inventory implemented on a GIS. However, precise matching of the imagery to the cartographic base of the inventory map at all locations will be a problem requiring solution, because both the imagery and base maps will have errors and inconsistencies.

Stand height estimation is a critical and difficult component of stand characterization. Laser profiling systems giving a profile of the forest canopy along the flight path are useful for height determination. There are often enough laser pulses returning from the ground surface that stand height can be estimated (8,9). Lidar systems, which record the amplitude of the reflections of a single laser pulse as it passes through a forest canopy, have been shown to given height estimates meeting inventory requirements (10,11). The distance between the first reflection from the top of the canopy and the reflection from the ground surface gives tree height. Sample estimates of tree height derived from laser systems flown simultaneously with or separately from aerial photography or airborne scanner data could be used by photointerpreters as sites of quantified height in order to calibrate their height class interpretations. Further testing of the technology is needed. Tree height determination from medium altitudes and in a scanning mode, in which the laser is scanned across the flight direction, need investigation. Laser profiling and lidar technology has also been investigated for estimation of volume. These studies have met with moderate success (12,13).

Radar imaging has been used in the tropics for forest mapping. The advantage is its ability to acquire imagery under cloudy conditions. Synthetic aperture radar, although not providing sufficient forest type discrimination for inventory mapping in Canada, does give some useful discrimination capabilities. For example, certain softwood species have radar returns distinctive from one another. Their radar returns, however, are not necessarily distinctive from other forest types (14). Therefore, radar imagery would have to be used in combination with visible/infrared imagery. An integrated radar and visible/infrared data set is feasible but would be of increased complexity to acquire, process, and analyze, and the benefits may not warrant such procedures. In certain cases, it may be appropriate to use radar data as a supplementary data source to aerial photography or scanner data.

The capabilities of the new technologies outlined here are not yet fully explored or understood. It is unclear whether the advantages of new technologies for forest inventory mapping will outweigh the disadvantages (added complexity and added cost of data processing and interpretation) and difficulties in developing and implementing them.

Ground sampling is the other major component of management inventories. Most recent development work in aerial photographic techniques in Canada has occurred in the use of large scale photography (LSP) for acquiring detailed tree information to supplement ground plot measurements. Ground sampling is the most expensive component of forest inventory and LSP techniques offer cost savings (approximately 1/2 to 1/3 the cost) in acquiring detailed tree information. LSP has been tested and used operationally in several provinces and territories (e.g., 2). Tree height and possible volume or biomass estimation procedures using laser sensors may be an additional tool for sample plot analysis.

*Reconnaissance Inventory*

Thirty-one percent of Canada's forest land, primarily the northern non-commercial forest, is inventoried by reconnaissance methods. An additional 14% is inventoried (for regional planning purposes) in a less intensive manner than management inventories (1). Mapping in these forests requires less detailed information and satellite data are often sufficient. The advantages of satellite reconnaissance mapping are low cost and the ability to produce interpretations and maps quickly. For example, a survey of northern forests in the province of Quebec gave the area and location of forest strata and estimates of the volume of merchantable wood. Enhancements of Landsat MSS data were used to determine strata of broad forest categories of composition, density,

and age. Ground samples within each stratum provided volume information. The survey of 495,000 $km^2$ was accomplished in just over 1 year and cost approximately \$0.68/$km^2$ (15). Studies using classification techniques have met with mixed success and classification of Landsat data for reconnaissance mapping has been used on a limited basis.

*Inventory Update*

Requirements and procedures for inventory update vary greatly from province to province and within provinces. In general the location and area of major forest depletions (e.g., commercial scale harvesting and burned areas) and other major disturbances and land clearings are updated, often yearly. Responsibility for mapping harvest areas may be with the harvesting company or the province. The common procedures for mapping cut areas include supplementary aerial photography (70 mm or 35 mm photography taken from light aircraft or helicopter), conventional 23 cm format aerial photography, satellite imagery, ground traverses, and unverified cut block records. Supplementary aerial photography at scales from 1:5,000 to 1:50,000 is the most common method. Mapping of burned areas is a large task. In the provinces of Canada, the average annual number of fires over 4 ha in size is approximately 1,000. These fires burn an average area of 675,000 ha per year (16). Aerial photography, satellite data, and aerial sketch mapping are the common methods for mapping burned areas.

The broad area coverage and low cost of satellite data make it advantageous for detecting and delineating major forest changes. Visual interpretation of satellite data is effective for mapping clear-cuts and, to lesser extent, partial cuts. Satellite data have been used for this purpose, although not routinely. An exception is the province of British Columbia where Landsat data have been used routinely to update clear-cut areas (2). The capabilities of classification of clear-cuts and burned areas have been well demonstrated; however, visual interpretation remains the most common method for operational use. Equipment has been developed to efficiently project and enlarge transparencies of satellite data onto forest inventory maps (17). Clear-cuts and burned areas can be efficiently updated in this manner. Satellite data has been used intermittently for burned area mapping. In one application, covering an area of approximately 1,000,000 $km^2$ and requiring 69 Landsat images, the area of the Northwest Territories burned in 1981 was mapped by visually comparing 1:1,000,000 scale transparencies from 1980 and 1981. The province of British Columbia now uses Landsat TM data effectively for quickly and cheaply mapping burned areas. In some cases the intensity of burn can be estimated.

There is increasing use of satellite data for inventory update due, in part, to the improved capabilities of Landsat TM and SPOT over Landsat MSS. The better resolution of Landsat TM and SPOT is such that foresters are comfortable with interpreting and delineating burns and cut areas. With increasing implementation of inventories on GIS, the use of geometrically corrected satellite data will increase. GIS will also make use of geometrically corrected airborne linear array scanner data an attractive alternative to conventional aerial photography for mapping forest changes. A major drawback in using satellite data is acquisition of cloud-free data in the time period desired. Increased frequency of coverage offered by SPOT, with its directional pointing capability, reduces this problem. SPOT has a repeat coverage capability of three days for most of Canada's southern forest. Use of satellite radar imagery, although not as effective as satellite visible/infrared sensors, is expected to provide adequate information for mapping clear-cuts and most burned areas. Canada is building and will operate an imaging C-band radar sensor and satellite system (RADARSAT), which is expected to be launched in 1994. Such a system, with all its weather capability, will alleviate the problem of acquiring cloud-free imagery when required and be a useful complement to visible/infrared satellite data.

## PROTECTION

*Forest Fires*

Fire detection and decision making regarding fire suppression strategies are the two main areas where remote sensing information can be integrated with other data to assist in forest fire protection. On average 8,000 to 9,000 fires occur in Canada each year (16). The major problem in fire detection is to adequately cover the vast areas of Canada's sparsely populated forests. The most common technique of fire detection is visual observation from light aircraft dispatched on a routine basis. Thermal line scanners have the capability of detecting fires but have not been used routinely in Canada for fire detection. With advances in inertial navigation systems and the use of the Global Positioning System it is possible to develop a system that only outputs the location of suspected fires. Imagery is not needed for geographic reference. The difficulty with scanners is to place the thermal scanner over enough fires to be an effective tool. Part of this problem can be solved by good fire prediction and routing the scanner over areas of high fire danger. A wide swath of scanner data is also needed. Another possible use of thermal scanner technology is currently being investigated, the development of inexpensive detection sensors that could be operated as a backup to visual observation from light aircraft when visibility is poor due to haze or smoke.

Fire prediction is a critical element of fire detection. Forest fire fuel maps are important for predicting the occurrence of fires. Enhancements of Landsat MSS data have provided fire control officers with a broad overview from which fuel type can be interpreted. Classifications of forest type have also provided forest fuel type input to an operational decision support system which makes daily prediction of areas under high fire danger. These predictions are from a database of weather information from meteorological stations, weather forecasts, rainfall from rainfall radar, fuel type from Landsat MSS classifications, topographic data, lightning location from a network of lightning detectors, and historical fire data (18). A module of the decision support system determines optimal routes for placing visual observation patrol aircraft over the areas of high fire hazard. With increasing implementation of inventories on GIS, fuel type can be derived from stand descriptions and the need for satellite based fuel maps is diminished.

Remote sensing also has a role in the allocation of fire fighting resources and selection of fire suppression strategies. Forest fuel type at the location of a fire is used in the prioritization of resource allocation to fires. Fire growth models, giving a predicted rate and direction of fire spread, have been developed based on fuel types derived from satellite data (18). Thermal infrared sensor systems are being utilized for fire perimeter mapping. Airborne thermal infrared line scanners producing hardcopy output for fire mapping are used intermittently in Canada. A problem is the expense and logistical problems of ensuring a sensor and aircraft are available and on location when needed. Hand-held thermal infrared imaging systems producing video output and operated from light aircraft or helicopter are in common use to aid in visually examining fires.

*Insects and Disease*

Current requirements for insect and disease damage information are for broad overviews of the location and severity of forest damage. Large areas need to be surveyed. Approximately 20 million ha of forest have been affected annually by moderate and severe spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* [Clem.]) defoliation in eastern Canada over the past several years. Surveys of spruce budworm damage have covered an area of nearly 1,000,000 $km^2$ in some years (19). Mortality

due to the mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins) in western Canada occurred over approximately 0.45 million ha in over 8,000 infestations in recent years. In cases of large severe damage, there is more detailed mapping and quantification. Surveys are conducted to aid planning of insect and disease control programs, evaluation of control programs, planning of ground or more detailed assessment surveys, monitoring the state and spread of a disease and insect infestation, as well as to plan salvage logging operations and to update forest inventories.

The requirements for and use of insect and disease damage assessment information is changing. Management of damaged forests is becoming more intensive and control programs are selective. Forest managers need predictions of the occurrence and consequence of damage, and prescriptions for managing damaged forests and conducting control programs. Integration of data from a variety of sources, as well as models of insect population, knowledge of the impact of infestations, and rules for management prescriptions, is needed. For example, inventory data is used to predict susceptibility to insect infestation, and inventory and previous damage history permit estimation of vulnerability to damage and are inputs to harvest scheduling and control programs. Use of GIS is a key to integration of the data sources. Decision support systems and artificial intelligence techniques will be important in assisting the forest manager with complex management decisions. Better damage information is required and there is a growing demand for detailed stand specific damage information.

Ocular observation from light aircraft or helicopter, particularly sketch mapping, is the most common method of damage assessment in Canada. It is a quick and inexpensive method of acquiring a broad overview of damage. Costs generally range from \$0.01 to 0.06/km$^2$, with a cost of \$0.025/km$^2$ being typical. The method, however, suffers deficiencies if applied to site specific problems requiring accurate, precisely georeferenced, damage assessments. Aerial photography is used to a limited extent. Routine surveys of 1:40,000 colour infrared photography have been flown to assess spruce budworm-caused mortality in Newfoundland. Normal colour photography at 1:20,000 was used in Alberta to assess mountain pine beetle mortality for sanitation and salvage operations. Landsat MSS data are not used as an operational tool. Only extensive areas of severe defoliation can be detected. Detection and delineation of defoliation of hardwoods by the forest tent caterpillar (*Malacosoma disstria* Hbn.) and gypsy moth (*Lymantria dispar* [L.]), however, appear to be appropriate for operational use. Landsat Thematic Mapper and SPOT HRV have improved capabilities for damage assessment, although results suitable for consistent operational use may be difficult to obtain. It is, however, not necessary for the techniques to give guaranteed success to be powerful and effective assessment tools. An advantage of the SPOT sensor is its ability to be directed to view to the side. This increases the repeat coverage possible over a given location and, therefore, the probability of acquiring data during the often short period of time for optimum detection of the symptoms of some damage. Acquiring timely cloud-free satellite imagery does, however, remain a problem. Assessing damage in forests of mixed composition, say softwood defoliation in a mixedwood stand, is also a problem. Thorough analysis of change detection techniques (i.e., comparing a scene from 1 year or time of year to the next) has not been undertaken and such techniques may improve the success of satellite data for damage assessment.

Airborne multispectral scanners have several advantages for damage assessment. Flexibility in timing data acquisition, resolution, and the spectral bands recorded are important features. Automated computer classifications of damage levels have met with moderate success. As with satellite data, the assessment of damage in stands of mixed composition is a difficulty. Visual interpretation of enhancements or use of change detection techniques may offer practical

solutions to this problem. Optimized spectral bands for a specific damage also will aid in damage assessment. Recent developments in airborne linear array scanner technology offer the potential for operational applications. Narrow wavelength bands can be optimized for damage detection. Use of inertial navigation system data facilitates efficient geometric correction to cartographic coordinates, thus allowing integration of results to forest inventories on a GIS. Ancillary data from the GIS regarding forest composition, previous defoliation history, and topography can be used to improve interpretations and automated classifications. Due to improved geometric correction capabilities, for the first time change detection techniques with airborne data are feasible. Survey techniques using airborne imagery will be more expensive than the current sketch mapping methods. It is unclear at this time whether forest agencies are willing to pay the added cost for the added damage information.

High resolution airborne imagery is appropriate for site specific or sample plot single tree damage assessments. Resolutions as high as 0.3 m are feasible with new linear array scanners. Another airborne technology being investigated for damage assessment is imaging spectrometers. These sensors acquire a full spectral curve comprised of narrow spectral bands in the visible and/or infrared (20,21). This technology may prove useful for assessing subtle spectral differences due to damage.

## SILVICULTURE

Requirements for silviculture planning and operations are generally derived from management inventories, operational inventories, and special purpose surveys. Prescriptions for site preparation are determined by field inspection, and interpretations of site characteristics on aerial photography. Inventory photographs, or photographs acquired to update the forest inventory after the harvesting operation, are used. Site type is a critical parameter used in determining strategies for regeneration. This is derived from field examinations and aerial photography. Satellite data are sometimes used to aid in mapping various ecological classes which, in turn, contribute to site type determinations. Other factors such as elevation, slope, aspect, roughness are parameters of increasing importance in planning which are derived from remote sensing sources and can be loaded on a GIS.

Regeneration assessments are conducted to various specifications. Many jurisdictions have requirements to survey regeneration on all cut areas within 5 years of cutting to ensure satisfactory regeneration. Surveys within 1 or 2 years after planting are generally conducted to measure survival rate. The young regeneration and seedlings, because of their small size, are often overgrown by ground vegetation and remote sensing methods are generally not suitable. Surveys in established plantations or natural stands test the need for silviculture activities (e.g., release from competition or overstocking). Large scale photography (LSP) has the capability of providing appropriate information regarding species, height, stocking, and competition (22). The advantage is lower cost than expensive ground surveys. The practicality of LSP surveys depends on the specific requirements of each survey and the size of the area and its accessibility. Multistage or multiphase sampling systems have been tested with small scale photography for stratifying regeneration areas and LSP for quantifying regeneration (23). The ability to enhance and efficiently georeference data from linear array scanners make such sensors an attractive tool for stratifying and sampling regeneration. Satellite data, especially that of the new generation of high resolution satellites, have the capability of stratifying regeneration levels. Change detection procedures have not been adequately researched to date.

With increasing numbers of plantations, monitoring of tree condition is becoming of greater concern. Airborne remote sensing techniques will become an important tool for plantation monitoring.

## CONCLUSION

Remote sensing is an integral part of Canadian forest management. Forestry is one of the largest users of conventional aerial photography in Canada. The forestry community is the largest purchaser of satellite data in Canada. Research and development of digital remote sensing applications in forestry is one of the most active remote sensing research areas. Canada has had a long history of developing and implementing remote sensing applications in forestry. It was a pioneer in the use of aerial photography in forestry in the 1920s and 30s and in the implementation of large area management inventories with aerial photography in the 1950s. It is a leader in the development of large scale photography for forestry. Current trends in forest management, increased demand for forest information, development of a technological infrastructure in the forestry community, and advances in remote sensing technology indicate continued innovation and development of forestry applications of remote sensing.

## RÉSUMÉ EXECUTIF

*La télédétection fournit sur la forêt bon nombre de données nécessaires aux inventaires et analyses, à la protection, et à la gestion sylvicole. Ses exigences, ses méthodes et ses applications dans chacun de ces secteurs sont examinées, de même que les possibilités de ses techniques. Les progrès de cette discipline sont presentées dans le contexte des conditions et besoins changeants de la foresterie canadienne, notamment à la lumiere d'une intensification de l'aménagement, de la mise sur pièd rapide d'une infrastructure technique, du recours aux systèmes d'information géographique pour les inventaires forestiers et la planification, et d'une intégration de plus en plus poussée des données et connaissances au sein des systèmes d'aide à la décision utilisés pour l'aménagement forestier.*

## INTRODUCTION

La télédétection est le principal moyen de collecte de l'information sur la distribution spatiale des forêts canadiennes. Malgré son caractère classique, l'interprétation des photographies aériennes constitue la technique de télédétection la plus utilisée. Au cours des dix à quinze dernières années, beaucoup de travaux de recherche-développement ont été réalisés sur la télédétection à enregistrement numérique. Compte tenu du délai que l'on observe habituellement entre la conception de nouvelles techniques et leurs mises en application, la télédétection à enregistrement numérique devrait bientôt commencer à être de plus en plus employée sur le terrain. D'ailleurs, plusieurs tendances et percées techniques -- à la fois en foresterie et en télédétection -- favorisent le recours à ces techniques et en augmentent les possibilités.

Ainsi, on observe une intensification de l'aménagement forestier, d'où la nécessité de rassembler des données de plus en plus détaillées et actualisées. Pour prendre des décisions plus complexes, on doit pouvoir plus facilement manipuler les données de même qu'intégrer les données et connaissances provenant de toute une gamme de sources. Il faut aussi tenir compte davantage des facteurs environnementaux, fauniques, récréatifs et autres, ce qui fait que nous avons besoin d'encore plus de données et de moyens techniques pour nous en servir d'une manière efficace.

L'infrastructure technique des milieux de l'aménagement forestier se développe rapidement au Canada. Le recours général aux systèmes d'information géographique (SIG) constitue un élément majeur de cette infrastructure naissante. En effet, les SIG permettent à l'aménagiste de manipuler et d'intégrer des données plus efficacement. D'autre part, parce que celui-ci s'en sert pour prendre des décisions, ces données doivent être plus détaillées et actualisées. La télédétection est donc touchée de deux façons: premièrement, par la demande accrue de techniques de collecte de l'information, et deuxièmement, par le fait que les données numériques obtenues par la télédétection ont l'avantage d'être compatibles avec les bases de données numériques des SIG. Un autre aspect important du développement de l'infrastructure technique est l'utilisation de plus en plus fréquente des modèles informatiques pour aider à la prise des décisions. D'autres progrès comme la création de progiciels d'aide à la décision augmentent l'efficacité de l'aménagement forestier. Le recours aux techniques de l'intelligence artificielle comme les systèmes experts, qui rassemblent connaissances et règles d'aménagement, faciliteront encore davantage la prise des décisions à l'avenir. De plus, l'accroissement de la puissance et la diminution du coût du matériel informatique accéléreront la mise en oeuvre de ces techniques dans le domaine de l'aménagement forestier. Grâce à la mise sur pied de cette infrastructure technique, les

aménagistes locaux commencent à disposer de puissants outils qui peuvent servir autant pour les bases de données centralisées et décentralisées que pour l'aménagement forestier. Cette évolution aura comme autre conséquence de mettre en place une infrastructure qui favorise le recours aux techniques de télédétection à enregistrement numérique.

Des progrès importants ont été réalisés dans les techniques de télédétection. Ainsi, les scanneurs multispectraux à barrette aéroportés offrent une haute résolution spatiale, une grande sensibilité radiométrique et un vaste choix de bandes de longueurs d'onde. L'utilisation des données des systèmes de navigation par inertie afin de corriger géométriquement les données aériennes en fonction des coordonnées cartographiques a constitué une percée importante puisqu'elle facilite de beaucoup l'intégration des données ou leur interprétation de concert avec d'autres comme celles des inventaires forestiers obtenues à l'aide d'un SIG. La nouvelle génération de capteurs pour les satellites d'étude des ressources terrestres (c'est-à-dire le cartographe thématique [Thematic Mapper TM] de Landsat et le capteur à haute résolution dans le visible [HRV] de SPOT) ont permis de pousser encore plus loin la résolution spatiale par rapport au premier scanneur multispectral (MSS) de Landsat. Les images sont maintenant d'une telle qualité que les interprétations peuvent presque être faites au niveau du peuplement.

Il faut absolument profiter de cette évolution pour utiliser encore davantage les techniques de télédétection dans le domaine de la foresterie et accroître leur efficacité.

## LES INVENTAIRES FORESTIERS

Il existe quatre grands types d'inventaires forestiers au Canada: les inventaires d'aménagement, les inventaires d'exploitation, les inventaires de reconnaissance, et l'inventaire forestier national. Comme leur nom l'indique, les inventaires d'aménagement servent à l'aménagement et à la planification et relèvent habituellement des provinces vu que ces derniéres sont chargées de l'aménagement de la plupart des forêts productives du pays. Ces inventaires permettent de déterminer l'emplacement et le volume des différents types de bois et de stratifier et cartographier les divers types forestiers à l'aide de photographies aériennes. Les inventaires d'exploitation sont généralement réalisés avant d'entreprendre des travaux forestiers. Il s'agit principalement de dénombrements sur le terrain effectués d'après des cartes des peuplements établies lors des inventaires d'aménagement; parfois, les photographies de ces derniers inventaires sont interprétées à des fins d'exploitation. Les inventaires de reconnaissance et les autres types d'inventaires à grande échelle sont réalisés dans les forêts canadiennes moins productives, par exemple, dans les forêts nordiques, au moyen à la fois des photographies aériennes et des données obtenues par satellite. L'inventaire forestier national du Canada est préparé à l'aide des inventaires d'aménagement provinciaux ou des inventaires de reconnaissance.

*Les Inventaires d'Aménagement*

Ils ont été faits pour 1.8 million de $km^2$ de terres forestières canadiennes (1). Ils sont habituellement révisés à tous les dix ou vingt ans. Les renseignements qu'ils permettent de recueillir varient d'une province à l'autre, mais peuvent être dans l'ensemble résumés de la façon suivante: la proportion des diverses essences, la classe de hauteur (par ex., par pas de 5 m), la densité ou le matériel relatif (souvent quatre classes), la classe d'âge ou de développement (habituellement quatre classes), et les classes de fertilité (de trois à six) qui indiquent les taux d'accroissement prévus. Des estimations du volume sont compilées au moyen de la stratification de la carte d'inventaire, et les formules de cubage sont établies à partier des

sondages au sol. Les données de la carte d'inventaire sont tirées de l'interprétation de photographies noir et blanc panchromatiques, de photographies couleur normales ou d'images IR en noir et blanc dont l'échelle varie de 1/10,000 à 1/20,000. L'échelle des cartes d'inventaire varie donc à l'intérieur de ces limites. Quatre provinces réalisent déjà ou sont sur le point de réaliser leurs inventaires à l'aide d'un SIG. La Colombie-Britannique et le Nouveau-Brunswick le fond depuis longtemps (2,3). La plupart des autres provinces ont acquis un de ces systèmes et ont l'intention de s'en servir pour leurs inventaires.

La plupart de ces inventaires d'aménagement sont satisfaisants; les principales erreurs sont observées dans les estimations du volume et sont dues à la taille réduite des échantillons et à des erreurs d'interprétation des photos. Le principal inconvénient de ces inventaires est leur coût élevé lorsqu'ils visent de grandes superficies. Ce coût varie habituellement de 0.40 à 0.60 $/ha (4), dont environ la moitié pour l'acquisition des données, leur interprétation et la production des cartes d'inventaire.

La télédétection à enregistrement numérique n'est pas utilisée d'une manière courante pour les inventaires d'aménagement. Le classement et l'accentuation des données du scanneur multispectral de Landsat sont de peu d'utilité en raison du besoin de donneés détaillées sur les forêts. Seules les grandes catégories de type forestier peuvent être identifiées d'une façon constante. La résolution spatiale de la nouvelle génération de satellites (Landsat équipé d'un cartographe thématique et SPOT) permet l'interprétation à la finesse qui s'approche du niveau du peuplement. Même si elle présente de nouvelles possibilités d'interprétation, elle ne peut fournir de renseignements suffisamment détaillés pour les inventaires d'aménagement. Les données satellitaires peuvent toutefois donner une idée générale de la configuration du couvert forestier, qui pourra à son tour servir à l'établissement de cartes d'inventaire. Elles pourraient par exemple nous permettre de déterminer les contours des zones brûlées et d'attribuer des âges similaires aux peuplements qu'on y trouve.

Afin de rassembler les données requises pour les inventaires d'aménagement, il faut disposer d'images pouvant être interprétées à l'échelle de l'arbre individuel. C'est pourquoi les photographies aériennes à moyenne échelle sont utilisées pour l'interprétation des forêts et la cartographie. Les tendances récentes vont vers l'utilisation de photographies couleur normales, par opposition aux photographies noir et blanc panchromatiques, et vers l'augmentation de l'échelle, plusieurs provinces ayant recours au 1/10 000 ou au 1/12 500. Les données des scanneurs multispectraux à haute résolution se sont révelées convenir à la cartographie des types forestiers (5); la technique pourrait fort bien remplacer la photographie aérienne pour l'établissement des cartes d'inventaire. L'utilisation d'images numériques dépend toutefois de trois percées techniques importantes. La première est la mise au point de scanneurs à barrette comme le balayeur-imageur électro-optique à détecteurs multiples (6). Ces scanneurs utilisent une barette de dispositifs à couplage de charge pour enregistrer numériquement une image tandis que les scanneurs optico-mécaniques (la plupart des scanneurs actuels) ne comptent qu'un seul détecteur. Les scanneurs à barette ont l'avantage d'avoir une fine résolution spatiale (jusqu'à 0,3 m avec la plupart des systèmes pour aéronefs) et une bonne résolution radiométrique (environ 100 fois supérieure à celle des scanneurs optico-mécaniques aéroportés), de pourvoir enregistrer des images dans des canaux étroits (par ex., 3 nm), et d'offrir plusieurs plages de longueurs d'onde (qu'on choisit au moyen de filtres interchangeables). La seconde percée cruciale est l'établissement de techniques permettant d'utiliser les données du système de navigation par inertie de l'aéronef pour faciliter la correction géométrique des images aériennes à l'aide des coordonnées cartographiques (7). Enfin, la troisième percée d'importance concerne la production d'images stéréoscopiques à partir des données d'un scanneur aéroporté (7). On peut produire ces

images à l'aide d'un scanneur à barette en affectant un canal aux données de visée frontale et un autre aux données de visée arrière. Après correction géométrique, une image stéréoscopique peut être générée, ce qui permet d'estimer visuellement la hauteur totale ou la hauteur dominante. La détermination automatisée de la hauteur devient aussi possible.

Par conséquent, des accentuations numériques d'images à haute résolution (< 1,2 m) qui conviennent à l'interprétation visuelle détaillée pourraient être produites. Les bandes spectrales et les méthodes d'accentuation pourraient être optimisées en vue d'une discrimination des essences. La classification et l'interprétation automatisées, même si elles présentent de très nombreuses difficultés techniques, pourraient aussi se révéler possibles. Des estimations de la hauteur peuvent être faites à l'aide d'images stéréoscopiques. Comme les données peuvent être corrigées géométriquement, les interprétations peuvent être automatiquement corrélées aux cartes de base des inventaires, éliminant ainsi l'étape coûteuse du report manuel des données sur une de ces cartes. Pour profiter de cet avantage, il faut absolument que l'inventaire soit exécuté à l'aide d'un SIG. Toutefois, il sera difficile d'établir une correspondance totale entre les images et le fond cartographique de la carte d'inventaire puisque ces deux éléments comporteront des erreurs et incohérences.

L'estimation de la hauteur dominante constitue un aspect essentiel et difficile de la caractérisation des peuplements. Les profilomètres à laser du couvert le long du trajet de vol facilitent cette tâche. La surface du sol réfléchit souvent un nombre suffisant d'impulsions laser pour permettre d'estimer la hauteur dominante (8,9). On a démontré que les systèmes à lidar, qui enregistrent l'amplitude des réflexions d'une seule impulsion laser lorsqu'elle franchit un couvert forestier, fournissent des estimations de la hauteur qui répondent aux exigences des inventaires (10,11). Les distances entre la première réflexion provenant du sommet du couvert et la réflexion provenant de la surface du sol nous donnent la hauteur totale. Les photo-interprètes pourraient avoir recours à des estimations de la hauteur totale d'un échantillon, obtenues à l'aide de systèmes à laser en même temps que les photographies aériennes ou les enregistrements radiométriques, ou encore séparément de celles-ci, pour étalonner leurs interprétations des classes de hauteur. Ces techniques restent à éprouver. Ainsi, il faut étudier comment déterminer la hauteur totale à des altitudes moyennes et en balayage laser dans la direction du vol. Le profilomètre à laser et le lidar ont aussi fait l'objet d'essais de l'estimation du volume, dont le succès a été passable (12,13).

Les images radar ont servi, sous les tropiques, à la cartographie forestière. La technique a l'avantage de fonctionner par temps nuageux. Le radar à antenne synthétique, même s'il ne permet pas une discrimination suffisante des divers types forestiers en vue de la cartographie d'inventaire au Canada, présente quand même certaines possibilités intéressantes à cet égard. Par example, certains feuillus ne renvoient pas tous le même écho lequel, toutefois, n'est pas nécessairement distinct de celui d'autres types forestiers (14). Par conséquent, le radar devrait s'assurer le concours des images prises dans le visible ou l'infrarouge. L'intégration est possible mais il serait plus difficile de saisir, de traiter et d'analyser les données et, encore, cela n'en vaut peut-être pas la peine. Dans certains cas, le radar peut servir de source complémentaire de données à la photographie aérienne ou à l'enregistrement à balayage.

On n'a pas encore exploré ou saisi toutes les possibilités de ces nouvelles techniques. Il n'est pas certain que leurs avantages pour la cartographie des inventaires forestiers seront supérieurs à leurs inconvénients (augmentation de la complexité du travail et du coût du traitement et de l'interprétation des données) et aux difficultés que présenteront leur mise au point et application.

L'échantillonnage au sol constitue un autre volet essentiel des inventaires d'aménagement. La plupart des recherches effectuées récemment au Canada dans le domaine des techniques de photographie aérienne ont porté sur l'utilisation de la photographie à grande échelle (PGE) pour rassembler des données détaillées sur les arbres afin de compléter les mesures sur placettes. Cet échantillonnage est l'aspect le plus coûteux des inventaires forestiers et le recours à la PGE permettrait d'acquérir ces données détaillées à meilleur prix (du tiers à la moitié moins chères environ). Ces techniques ont été mises à l'essai et utilisées dans plusieurs provinces et territoires (voir 2). Les méthodes qui ont recours à des capteurs à laser pour estimer la hauteur totale et la biomasse ou le volume possible pourraient aussi servir à l'analyse des placettes.

*Les Reconnaissances Forestières*

Trente et un pourcent de la superficie forestière nationale, principalement la forêt commercialement non exploitable du Nord, sont inventoriées à l'aide de reconnaissances. Quatorze pourcent encore sont inventoriées (pour la planification régionale) d'une manière moins intensive que les inventaires d'aménagement (1). La cartographie de ces forêts requiert des renseignements moins détaillées et les données recueillies par satellite suffisent souvent. Parmi les avantages de la cartographie de reconnaissances par satellite, notons son faible coût et son aptitude à produire rapidement des interprétations et des cartes. Ainsi, un inventaire des forêts nordiques du Québec a permis d'établir la superficie et l'emplacement des strates forestières et des estimations du volume de bois marchand. L'accentuation des données multispectrales Landsat a permis de déterminer des strates des catégories larges de composition, de densité et d'âge. Les échantillons prélevés à l'intérieur de chaque strate ont fourni des renseignements sur le volume. L'inventaire de 495 000 $km^2$ a ainsi pris un peu plus d'un an et a coûté environ 0,68 $/$km^2$ (15). Les études fondées sur les techniques de classement n'ont eu qu'un succès mitigé et on a peu eu recours à la classification des données Landsat en vue de la cartographie des reconnaissances.

*Mise à Jour des Inventaires*

Les exigences et les méthodes d'actualisation des inventaires varient grandement d'une province à l'autre et à l'intérieur de chacune de celles-ci. En général, une mise à jour est faite, souvent annuellement, afin de déterminer l'emplacement et la superficie des grandes étendues forestières disparues (à la suite d'une récolte commerciale ou d'un incendie), dégradées et défrichées. La cartographie des secteurs exploités peut relever de la société concernée ou de la province. Parmi les méthodes habituellement utilisées, notons la photographie aérienne supplémentaire (clichés de 70 mm ou de 35 mm à partir d'un petit avion ou d'un hélicoptère) ou classique (23 cm), les images satellitaires, les levés topographiques obtenus par cheminement, et l'examen de dossiers non vérifiés sur les blocs de coupe. On a le plus souvent recours à des photographies aériennes supplémentaires dont l'échelle varie entre 1/5 000 et 1/50 000. La cartographie des zones brûlées constitue une tâche imposante. Dans les provinces canadiennes, le nombre annuel moyen des incendies détruisant plus de 4 h s'élève à environ 1 000. Ces incendies brûlent en moyenne 675 000 h/an (16). La photographie aérienne de même que les croquis cartographiques préparés à l'aide de données recueillies par voie aérienne ou par satellite sont les méthodes les plus utilisées pour cartographier les secteurs brûlés.

La vaste superficie couverte par les données des satellites et leur faible coût les rendent avantageuses pour la détection et la délimitation des principaux changements qui surviennent dans les forêts. L'interprétation visuelle des données obtenues par satellite permet de cartographier efficacement les superficies mises à blanc et, dans une moindre mesure, les terrains partiellement déboisés. Ces données ont été employées à cette fin, mais non sur une base

régulière. La Colombie-Britannique constitue une exception à cet égard puisque les données Landsat y ont été utilisées régulièrement pour mettre à jour les cartes montrant les secteurs mis à blanc (2). Les possibilités en matière de classification des terrains mis à blanc et zones brûlés ont été bien démontrées, mais l'interprétation visuelle demeure la méthode la plus répandue. Des appareils ont été mis au point pour agrandir les transparents des données satellitaires et les projeter sur des cartes d'inventaire forestier (17). Ainsi, on peut procéder à une mise à jour convenable des cartes des zones mises à blanc et brûlées. Les données des satellites ont été utilisées d'une manière intermittente pour la cartographie des secteurs brûlés. Ainsi, une zone des Territoires du Nord-ouest brûlée en 1981, qui avait une superficie d'environ 1 000 000 $km^2$ et qui nécessitait la prise de 69 images Landsat, a été cartographiée par comparaison visuelle des transparents à l'échelle de 1/1 000 000 de 1980 et de 1981. La Colombie-Britannique se sert maintenant des données du cartographe thématique (Thematic Mapper) de Landsat pour cartographier rapidement et économiquement les secteurs brûlés. Dans certains cas, on peut évaluer l'intensité du feu.

Les possibilités nouvelles que présentent le cartographe thématique de Landsat et le SPOT par rapport au scanneur multispectral de Landsat expliquent en partie le recours de plus en plus fréquent aux données recueillies par satellite pour la mise à jour des inventaires. Le plus grand pouvoir résolvant de ces nouveaux systèmes est tel qu'il permet aux forestiers d'interpréter et de délimiter facilement les zones brûlées ou coupées. Au fur et à mesure que l'on aura recours aux SIG pour réaliser les inventaires, l'utilisation des données obtenues par satellite et corrigées géométriquement se répandra. Les SIG se serviront aussi des données corrigées géométriquement des scanneurs à barrette aéroportés pour remplacer avantageusement les photographies aériennes classiques en vue de la cartographie des changements qui surviennent dans les forêts. Un inconvénient majeur des données obtenues par satellite est qu'elles sont difficiles à acquérir au moment voulu en raison de l'interférence des nuages. Dans le cas du SPOT, la plus grande fréquence de couverture en raison de la possibilité de visée directionnelle atténue cependant ce problème. Ce satellite permet d'ailleurs une converture en continu d'une durée de trois jours pour la majeure partie de la forêt méridionale canadienne. L'utilisation de radars embarqués sur des satellites, même s'ils ne sont pas aussi efficaces que les capteurs dans le visible ou l'infrarouge que ces engins transportent aussi, devraient fournir des données suffisantes pour la cartographie des zones mises à blanc et de la plupart des zones brûlées. Le Canada est en train de mettre au point un satellite équipé d'un radar imageur dans la bande C (RADARSAT) qui devrait être lancé en 1994. Ce système, qui peut aussi fonctionner par temps couvert, atténuera les problèmes d'acquisition lorsqu'il y a des nuages et constituera un complément utile aux données recueillies dans le visible et l'infrarouge.

## PROTECTION

*Incendies de Forêt*

Leur détection et le choix des mesures de lutte sont les deux secteurs principaux où l'information rassemblée au moyen de la télédétection peut être intégrée à d'autres données afin d'améliorer la protection contre les incendies. Chaque année, entre 8 000 et 9 000 feux se déclarent en moyenne au Canada (16). Pour les détecter, la principale difficulté est de trouver comment surveiller d'une manière satisfaisante les vastes forêts peu habitées du pays. La technique la plus utilisée est l'observation visuelle à bord d'un aéronef léger effectuant des patrouilles régulières. Les scanneurs infrarouge peuvent déceler les feux, mais n'ont pas été utilisés couramment à cette fin au Canada. Avec les progrés de la navigation par inertie, il est

possible de concevoir un système qui ne fait qu'indiquer l'emplacement des feux prévus en utilisant le système de positionnement global. Les images ne sont pas nécessaires pour leur localisation. Ces scanneurs ont le désavantage de devoir survoler un nombre suffisant de feux pour se révéler des outils efficaces. On peut résoudre en partie ce problème en produisant de bonnes prévisions des incendies et en les utilisant dans les régions où les risques de feu sont élevés. Tout un éventail de données doivent aussi être recueillies avec ces appareils. Une autre utilisation possible de cette technique est actuellement étudiée; il s'agit de la mise au point de capteurs peu coûteux qui pourraient être employés lorsque l'observation visuelle à bord d'un aéronef léger devient difficile en raison du brouillard ou de la fumée.

La prévision des incendies constitue un aspect important de leur détection. Les cartes des combustibles forestiers sont à cet égard importantes. L'accentuation des enregistrements multispectraux Landsat ont fourni aux responsables de la lutte contre les incendies une vue générale de la forêt à partir de laquelle ils ont pu déterminer les divers types de combustibles. Les classifications des types forestiers ont aussi permis d'introduire ce genre de données dans un système d'aide à la décision qui fait des prévisions quotidiennes des secteurs à fort risque d'incendie au moyen d'un corpus de données météorologiques fournie par les stations météorologiques (y compris les prévisions météorologiques), de renseignements transmis par les stations pluviométriques radar, de classement des combustibles établies au moyen du scanneur multispectral du Landsat, de données topographiques, de données sur les endroits touchés par la foudre fournies par un réseau de détecteurs, et de données sur les antécédents des incendies (18). Un module du système d'aide à la décision détermine les itinéraires optimaux que doivent emprunter les aéronefs afin qu'ils survolent les secteurs où les risques d'incendie sont éléves. Étant donné qu'on a de plus en plus recours aux SIG pour les inventaires, les types de combustibles peuvent être déterminés à l'aide des descriptions des peuplements et l'on a moins besoin des cartes des combustibles préparées à l'aide d'un satellite.

La télédétection a aussi un rôle à jouer dans l'affectation des ressources à la lutte contre les incendies et dans le choix de la stratégie. Ainsi, connaissant le type de combustible forestier présent, on pourra déterminer à quel incendie seront affectées en priorité les ressources. Des modèles fondés sur les types de combustibles interprétés des données satellitaires prédisent la vitesse et la direction de propagation (18). Des capteurs infrarouge du rayonnement thermique permettent de cartographier le périmètre des incendies. Au Canada, on a aussi parfois recours à des scanneurs IR thermique embarqués produisant des états imprimés pour la cartographie des incendies. Il est cependant coûteux et logistiquement difficile de toujours pouvoir compter, en temps et en lieu voulus, sur un capteur et un aéronef. Pour faciliter l'examen visuel des incendies, on installe souvent sur de petits avions ou des hélicoptères des systèmes imageurs à main qui fonctionnent dans l'infrarouge thermique et qui produisent des signaux vidéo.

*Insectes et Maladies*

Dans ce domaine, ce qu'on recherche surtout, c'est un tableau général du lieu et de la gravité des dégâts. De vastes secteurs doivent être surveillés. Au cours des années passées, 20 millions d'hectares de forêt en moyenne ont été modérément ou gravement défoliés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*, Clem.) dans l'est du Canada. Les inventaires de ces dommages ont certaines années embrassé près de 1 000 000 $km^2$ (19). Dans l'ouest, le dendroctone du pin ponderosa (*Dendroctonus ponderosae*, Hopkins) a détruit ces dernières années environ 0,45 million d'hectares au cours de plus de 8 000 infestations. Lorsque les dégâts sont graves et étendus, on les cartographie et quantifie d'une manière plus détaillée.

Des relevés sont effectués afin d'aider à planifier et à évaluer les programmes de lutte contre les insectes et maladies, à planifier les évaluations au sol ou d'autres plus détaillées, à surveiller les maladies ou infestations et leur propagation, de même qu'à planifier les coupes de récupération et la mise à jour des inventaires forestiers.

Les besoins en renseignements et les utilisations de ces derniers évoluent. L'aménagement des forêts ravagées devient plus intensif et les programmes de lutte plus sélectifs. Les aménagistes ont besoin de connaître d'avance le moment des infestations ou des infections, leurs conséquences, ainsi que les prescriptions concernant l'aménagement des forêts atteintes et de l'exécution des programmes de lutte. Il faut intégrer les données de diverses sources, les modèles des populations d'insectes, les connaissances sur les conséquences des infestations et les règles gouvernant les prescriptions d'aménagement. Ainsi, les données des inventaires servent à prédire la vulnérabilité à l'infestation, tandis que les antécédents (inventaires, dégâts) permettent d'estimer la vulnérabilité aux dégâts: toutes ces prédictions sont prises en compte pour la planification de la récolte et de la lutte. Le recours à un SIG est un élément clé de l'intégration des sources de données. Les systèmes d'aide à la décision et les techniques d'intelligence artificielle seront à l'avenir importants pour aider l'aménagiste à prendre des décisions complexes. On a besoin de meilleurs renseignements sur les dommages subis par la forêt et on cherche de plus en plus à rassembler d'autres données détaillées sur les dégâts causés à chaque peuplement.

Au Canada, on a le plus souvent recours à l'observation visuelle à partir d'un petit avion ou d'un hélicoptère, et plus particulièrement à l'établissement de croquis cartographiques. C'est une façon rapide et peu coûteuse d'avoir une vue d'ensemble des dégâts. Les coûts varient habituellement de 0,01 à 0,06 \$/km$^2$, s'établissant le plus souvent à 0,25 \$/km$^2$. Cette méthode comporte cependant des lacunes si l'on s'en sert pour résoudre des problèmes particuliers à une station qui nécessitent des évaluations précises des dommages et leur localisation exacte. La photographie aérienne est utilisée d'une manière limitée. À Terre-Neuve, on a procédé à des inventaires réguliers à l'aide de la photographie couleur infrarouge (à 1/40 000) afin d'évaluer des dégâts causés par la tordeuse. Des photographies couleur normales à 1/20 000 ont été utilisées en Alberta pour évaluer la mortalité attribuable au dendroctone du pin ponderosa pour les coupes sanitaires et de récupération. Les données du scanneur multispectral de Landsat ne sont pas d'un emploi quotidien puisqu'elles ne permettent de déceler que de vastes étendues de forêts gravement défoliées. Elles pourraient toutefois convenir pour la détection et la délimitation de la défoliation des feuillus par la livrée des forêts (*Malacosoma disstria*, Hubner) et par la spongieuse (*Lymantria dispar*, L.). Le cartographe thématique de Landsat et le capteur HRV de SPOT offrent de nouvelles possibilités pour l'évaluation des dommages, même s'il peut s'avérer difficile d'obtenir des résultats permettant leur exploitation continue. Ces techniques n'ont cependant pas à nous garantir leurs résultats pour constituer des outils d'évaluation puissants et efficaces. Le capteur de SPOT a comme avantage de permettre des visées latérales, ce qui augmente la couverture en continu qu'il est possible de faire d'un endroit donné et, par conséquent, la probabilité d'acquérir des données pendant la période souvent courte au cours de laquelle on peut le mieux diagnostiquer certains dommages. L'acquisition en temps opportun d'images satellitaires sans nuages demeure toutefois un problème. Il en va aussi de même de l'évaluation des dégâts subis par des forêts mélangées (par ex., de la défoliation des résineux dans un peuplement mixte). Les techniques de détection des variations (c'est-à-dire la comparaison de deux scènes obtenues au cours de deux années ou périodes de l'année différentes) n'ont pas encore été analysées d'une manière approfondie et pourraient accroître l'intérêt des données des satellites pour l'évaluation des dommages causés aux forêts.

Les scanneurs multispectraux aéroportés disposent de plusieurs atouts dans ce domaine. Parmi les plus importants, notons les nombreuses possibilités qu'ils offrent en ce qui touche à l'acquisition des données au moment opportun, à leur pourvoir résolvant et au choix des bandes spectrales. Les tentatives de classement automatisé des dommages selon leur importance n'ont remporté qu'un succès moyen. Comme pour celles des données de satellite, l'évaluation des dommages causés à des peuplements mélangés pose une difficulté. L'interprétation visuelle des accentuations ou le recours aux techniques de détection des variations peuvent constituer des solutions pratiques à ce problème. L'optimisation des bandes spectrales afin de déceler un type de dommage précis pourra aussi faciliter ce travail. Les progrès enregistrés récemment dans le domaine des scanneurs à barrette pourraient aussi rendre ces appareils intéressants pour ce genre de tâche. Les bandes de fréquences étroites peuvent être optimisées pour la détection des dommages. Le recours aux données des systèmes de navigation par inertie facilite la correction géométrique en fonction des coordonnées cartographiques, ce qui permet d'intégrer les résultats aux inventaires forestiers exécutés à l'aide d'un SIG. Les données qui sont déjà dans celui-ci (composition de la forêt, défoliations antérieures, topographie) peuvent servir à améliorer les interprétations et les classements automatisés. Les progrès en matière de correction géométrique rendent possibles pour la première fois, les techniques de détection des variations grâce aux données aériennes. Les techniques d'inventaire à l'aide d'images aériennes seront plus coûteuses que les méthodes actuelles de croquis cartographiques. Il est trop tôt pour affirmer que les organismes chargés des forêts accepteront de débourser d'avantage pour ces renseignements supplémentaires.

L'imagerie aérienne à haute résolution convient aux évaluations des dommages causés aux arbres individuels d'une placette ou d'une station. Une finesse de résolution de 0,3 m est possible avec les nouveaux scanneurs à barrette. Les spectromètres imageurs constituent une autre technique aérienne qu'on envisage pour évaluer les dégâts. Ces capteurs pouvant saisir l'ensemble du spectre compris entre de fines bandes spectrales du visible ou de l'infrarouge (20,21), ils peuvent se révéler utiles pour évaluer d'infimes différences spectrales dues aux dommages causés à la forêt.

## SYLVICULTURE

Les besoins de la planification des opérations sylvicoles découlent habituellement des inventaires d'aménagement, des inventaires d'exploitation et des inventaires spéciaux. Les prescriptions pour la préparation de la station sont établies à partir d'inspections sur le terrain et d'interprétations des caractéristiques stationnelles à l'aide de photographies aériennes. On utilise des photographies d'inventaire ou des photographies prises après la coupe afin de mettre à jour l'inventaire. Le type stationnel, établi lui aussi à partir d'inspections sur le terrain et de photographies aériennes, constitue un paramètre essentiel de la stratégie de régénération. Les données des satellites sont parfois utilisées pour faciliter la cartographie des divers systèmes écologiques, qui, à son tour contribue à la détermination du type stationnel. D'autres paramètres de planification, de plus importants, comme l'altitude, la pente, l'exposition et la rugosité, sont obtenus à l'aide de la télédétection et peuvent être chargés dans un SIG.

Les évaluations de la régénération sont réalisées selon diverses conditions d'exécution. De nombreux services doivent, dans les cinq années qui suivent une coupe, inventorier toutes les superficies exploitées afin de garantir une régénération satisfaisante. Des inventaires habituellement réalisés un ou deux ans après la plantation servent à mesurer le taux de survie. La jeune régénération et les semis, en raison de leur petite taille, sont souvent dominés par la

végétation au sol, c'est pourquoi les méthodes de télédétection ne conviennent habituellement pas. Les inventaires de plantations établies ou de peuplements naturels permettent habituellement de vérifier s'il faut procéder à des travaux sylvicoles (par ex., dégagements, dépressages). La photographie à grande échelle (PGE) fournit des renseignements appropriés concernant les essences, la hauteur, le matériel relatif et la concurrence (22). L'avantage de cette technique est qu'elle coûte moins cher que les inventaires au sol. Son utilité dépend des exigences précises de chaque inventaire ainsi que de la superficie et de l'accessibilité du secteur à inventorier. Les systèmes d'échantillonnage répété ont été mis à l'essai avec la photographie à petite échelle pour stratifier les zones régénérées et avec la PGE pour quantifier la régénération (23). Le fait de pouvoir accentuer et relier précisément aux coordonnées géographiques les données des scanneurs à barrette rendent ces capteurs intéressants pour la stratification et l'échantillonnage de la régénération. Les données des satellites, particulièrement celles de la nouvelle génération de satellites à haute résolution, permettent une stratification de la régénération. Les méthodes de détection des variations n'ont pas fait l'objet de recherches suffisantes jusqu'à maintenant.

Au fur et à mesure que nombre de plantations augmente, la surveillance de l'état sanitaire des arbres devient de plus en plus préoccupante. Or, les techniques de télédétection aérienne constitueront un outil important pour s'acquitter de ce travail.

## CONCLUSION

La télédétection fait partie intégrante de l'aménagement des forêts canadiennes. Les milieux de la foresterie se classent d'ailleurs parmi les principaux utilisateurs de la photographie aérienne traditionnelle au Canada et sont les plus importants acheteurs de données satellitaires au pays. Les travaux de recherche-développement entrepris sur les applications de la télédétection à enregistrement numérique à la foresterie constituent l'un des champs les plus actifs de la recherche sur la télédétection. Le Canada conçoit et met en oeuvre depuis longtemps des applications de la télédétection dans le domaine de la foresterie. Ainsi, il a été le premier pays à utiliser la photographie aérienne en foresterie dans les années 1920 et 1930 et à avoir recours à cette technique pour procéder à des inventaires d'aménagement sur de grandes superficies dans les années 1950. Il est d'ailleurs à l'avant-garde du perfectionnement de la photographie à grande échelle appliquée à la foresterie. Les tendances actuelles de l'aménagement forestière, l'accroissement de la demande de renseignements sur les forêts, l'établissement d'une infra-structure technique dans les milieux de la foresterie et l'évolution de la télédétection indiquent que l'on continuera à chercher et à trouver de nouvelles applications de la télédétection dans le domaine de la forestière.

## RESUMEN EJECUTIVO

*La detección remota es una de las principales fuentes de información forestal para hacer inventarios y análisis, en la protección, y en la gestión silvicultural. Se describen en este trabajo los requisitos, así como los procedimientos y situación actuales de las aplicaciones de la detección remota en cada una de esas áreas. Se examinan las posibilidades futuras que tendrán las técnicas de detección remota en la práctica. Se presentan los adelantos actuales y futuros en el contexto de las cambiantes necesidades y condiciones de la ingeniería forestal canadiense. Estas incluyen un incremento de la gestión forestal, el rápido desarrollo de la infraestructura tecnológica, el uso de Sistemas de Información Geográfica en inventarios y planificación, además de una mayor integración de datos y conocimientos en los sistemas de apoyo para las decisiones de gestión forestal.*

## INTRODUCCIÓN

La detección remota es una herramienta esencial para adquirir información sobre la distribución espacial de los bosques canadienses. La principal técnica de detección remota que se usa en la actualidad es la forma convencional que consiste en la interpretación de fotografías aéreas. En los últimos 10 a 15 años se ha desarrollado la detección remota digital, sobre la cual se han hecho extensas investigaciones. Si tomamos en cuenta el típico retardo que lleva desarrollar y transferir las nuevas tecnologías a un uso práctico, deberíamos estar a punto de comenzar un período en que el uso de aparatos de detección remota digital se hará cada vez más corriente. Varias tendencias y progresos tecnológicos tanto en ciencias forestales como en detección remota están llevando a un uso y una capacidad potencial cada vez mayor de las técnicas de detección remota digital.

Hay una tendencia hacia una intensificación en las actividades de gestión forestal. Esto crea la necesidad de una información forestal actualizada y más detallada. Las decisiones de la administración se tornan más complejas y se impone la necesidad de que los datos sean más fáciles de manejar, estén más integrados y que la información provenga de fuentes diversas. Cada día las presiones que se ejercen para tomar en cuenta el medio ambiente, la fauna, las recreaciones y otros factores aumentan en intensidad. Esto incrementa todavía más la demanda de información y la demanda de gente capacitada para usar información en forma más efectiva.

La infraestructura tecnológica que ocuparán los encargados de la gestión forestal canadiense se está desarrollando rápidamente. El uso extendido de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es uno de los prinicipales componentes de esta infraestructura en desarrollo. Los SIG mejoran la habilidad de los administradores de bosques para manejar e integrar datos eficientemente. A su vez, el mayor uso de datos en las decisiones de gestión hace que los datos sean detallados y estén al día. La detección remota se ve, por lo tanto, afectada de dos maneras: primero, la mayor demanda de técnicas para suministrar información y segundo, los datos que se obtienen a base de detección remota digital son más adecuados ya que tienen la ventaja de ser

compatibles con el formato digital de los bancos de datos de los SIG. La información técnica se ha visto afectada también por el uso cada vez mayor de modelos computerizados para asistir en la toma de decisiones. La efectividad de la gestión forestal está aumentando con la introducción de innovaciones tales como la transferencia de modelos, datos y procedimientos de gestión a sistemas computerizados de apoyo a las decisiones. Las técnicas de inteligencia artificial tales como sistemas expertos donde se incorporan conocimientos y directrices de gestión proporcionarán todavía más ayuda a la toma de decisiones en el futuro. La tendencia hacia computadoras de mayor capacidad y menor costo acelerará la implantación de la tecnología de computación en la gestión forestal. Otro efecto que tiene esta infraestructura tecnológica es que estas poderosas herramientas en la gestión administrativa están empezando a estar al alcance de los administradores de campos locales. Pueden recibir apoyo tanto los bancos de datos centralizados y descentralizados como la gestión forestal. Otra consecuencia de estas tendencias es que quedará instalada una infraestructura que conduce al uso de técnicas de detección remota digital.

Se están haciendo progresos importantes en el campo de la tecnología de detección remota. Los dispositivos de exploración aérea multiespectrales con antenas colineales (exploradores de escobillón) ofrecen una gran resolución espacial, alta sensibilidad radiométrica y una selección flexible de bandas de amplitudes de onda. Una innovación crítica es el uso de datos basados en el sistema de navegación inerte (SNI) para corregir geométricamente datos aéreos según coordenadas cartográficas. Eso facilita enormemente la integración de los datos o las interpretaciones de ellos con otros datos, tales como los inventarios de bosques en un SIG. La nueva generación de satélites sensores de recursos terrestres (por ejemplo, el satélite cartográfico temático (CT) Landsat; y el satélite de Alta Resolución Visible (ARV SPOT) han aumentado la resolución espacial comparada con la del Landsat más antiguo de exploración multiespectral (DEM). Las imágenes que se obtienen poseen una calidad tal que casi se pueden hacer interpretaciones a nivel de rodal.

Estas tendencias y adelantos tienen un gran potencial. Por otra parte, existe la necesidad de aumentar la efectividad y el uso de las técnicas de detectores remotos en silvicultura.

## INVENTARIO

Hay cuatro tipos pincipales de inventarios forestales in Canadá: inventarios de administración, inventarios de operaciones, inventarios de reconocimiento e inventarios de bosques nacionales. Los inventarios de administración tienen como fin servir en la planificación y la gestión y generalmente son responsabilidad de las provincias que administran y tienen jurisdicción sobre la mayor parte del área de bosques productivos en Canadá. Estos inventarios dan la ubicación y el volumen de madera de diferentes tipos y hacen uso de la fotografía áerea como medio para estratificar y levantar mapas de los tipos de bosques. Los inventarios de operaciones generalmente se hacen antes de comenzar las operaciones forestales. Esencialmente, consisten en estimaciones iniciales del volumen de madera en los terrenos. Estas estimaciones se basan en los mapas de rodales de los inventarios de administración y algunas veces la fotografía del inventario de administración se interpreta en función de los objetivos de la operación. Se hacen inventarios de reconocimiento y otros tipos de inventarios extensos de los bosques canadienses menos productivos, tales como los bosques del Norte. Se utilizan tanto las fotografías aéreas como los datos obtenidos vía satélite. El inventario de bosques nacionales se deriva de los inventarios de administración provincial o de los inventarios de reconocimiento.

*Inventario de la Administración*

Los inventarios de administración cubren aproximadamente 1.8 milliones de $km^2$ de tierras de bosques canadienses (1). Estos inventarios se hacen en ciclos de 10 a 20 años. Los requisitos exigidos de estos inventarios varían de provincia a provincia pero se pueden generalizar los siguientes: proporciones de especies, clases según la altura (por ejemplo, clases e 5 m), densidad o grado de espesura ( a menudo cuatro clases), clase según edad o evolución (comúnmente cuatro clases), y tres a seis clases de sitios ecológicos que indican la rapidez de crecimiento esperada. Se recopilan las estimaciones de volúmenes usando la estratificación de los mapas de inventario y tres ecuaciones de volumen que se derivan de muestras de terreno. Los datos de los mapas de inventario se derivan de la interpretación de fotografías pancromáticas en blanco y negro, en colores normales o fotografías infrarrojas en blanco y negro a escalas de 1:10,000 a 1:20,000. Los mapas de inventario se hacen a escala de 1:10,000 a 1:20,000. Cuatro provincias han realizado o están dando los pasos para realizar sus inventarios en el sistema SIG. Colombia Británica y Nueva Brunswick tienen gran experiencia en la realización de sus inventarios en un SIG (2,3). La mayoría de las otras provincias han adquirido SIG o tienen la intención eventual de hacer sus inventarios en SIG.

Estos inventarios de administración son, en su mayor parte, satisfactorios. Las principales inexactitudes se refieren al volumen debido al pequeño tamaño de las muestras y a errores de la foto interpretación. La principal dificultad con los inventarios son los elevados costos que significa realizarlos sobre grandes superficies. Los costos típicos son de $0.40 a $0.60 por ha (4). Aproximadamente la mitad de este costo está relacionado con la adquisición de datos, interpetación y producción de los mapas de inventarios forestales.

La detección remota digital no se utiliza en forma rtuinaria en la producción de inventarios de administración. Las clasificaciones o realces de los datos de Landsat de EME tienen un valor limitado a causa de la detallada información forestal requerida. Sólo se pueden identificar en forma uniforme las clases más generales de tipos de bosques. La resolución espacial de la nueva generación de satélites (por ejemplo, el Landsat Cartográfico Temático y SPOT) proporcionan interpretaciones de bosques con un detalle espacial que se acerca al nivel del rodal. Si bien tienen una mejor capacidad de interpretación forestal, no proporcionan los detalles de información suficiente para servir de entrada en los inventarios de administración. Sin embargo, los datos de satélite pueden ser útiles para dar una vista panorámica de las configuraciones de la vegetación forestal que son provechosas para la elaoración de mapas de inventarios. Un ejemplo sería la identificación de configuraciones de incendios antiguos y la adscripción de una edad similar a los rodales ubicados dentro de las zonas incendiadas.

Para producir la información forestal que se requiere en los inventarios de administración se necesitan imágenes que puedan ser interpretadas en base a árboles individuales. Por esta razón se usa fotografía aérea e mediana escala para efectuar la interpretación y cartografía forestal. La tendencia más reciente tiende a utilizar fotografía de color normal en contraposición a la fotografía pancromática en blanco y negro. La escala de la fotografía que se utiliza está aumentando, en varias provincias se usa una escala de 1:10,000 ó 1:12,500. Datos del explorador aeromultiespectral de alta resolución han demostrado potencialidad para ayudar a realizar la cartografía de tipología forestal (5) y es una tecnología que vale la pena ensayar por constituir una alternativa a la fotografía aérea en la cartografía de inventarios. Los factores claves que han hecho posible la aplicación de las imágenes aéreas digitales han sido tres adelantos tecnológicos recientes. El primero de ellos es la producción de un formador de imagen multiespectral con antenas colineales tal como el DEME (Dispositivo Explorador Multiespectral

Electroóptico) (6). Estos formadores de imágenes usan antenas colineales de energía acopladas a aparatos para registrar digitalmente una imagen en contraste a un detector único como el que usan los dispositivos exploradores óptico-mecánicos (la tecnología actualmente en uso en la mayoría de los dispositivos exploradores aéreos). Los formadores de imágenes de antenas colineales tienen la ventaja de tener una alta resolución espacial (de 0,3 m con la mayoría de los aviones), buena resolución radiométrica (aproximadamente 100 veces mayor que los exploradores aéreos óptico-mecánicos), capacidad para registar imágenes en bandas angostas (por ejemplo bandas de 3 nm de ancho), y flexibilidad en la selección de amplitudes de onda ( la amplitud es seleccionada por filtros intercambiables). Un segundo factor clave es la creación de técnicas que usan los datos del sistema de navegación inerte del avión para ayudar a corregir geométricamente las imágenes aéreas según corrdenadas cartográficas (7). El tercer adelandto clave es la producción de imágenes estéreas a partir de los datos de un explorador aéreo (7). Las imágenes estéreas pueden ser producidas por un dispositivo explorador de antenas colineales con un canal de datos mirando hacia adelante y otro hacia atrás. Se genera un parestéreo usando la corrección geométrica. Se hace posible la estimación visual de la altura de árboles o rodales y cabe también la posibilidad de llegar a determinar la altura automáticamente.

Por lo tanto, es posible producir realces digitales de las imágenes de alta resolución (1.2 m) adecuados a una interpretación visual detallada. Las bandas espectrales y los procedimientos de realce podrían ser optimizados para lograr una discriminación de especies. La clasificación e interpretación autmoática, aunque plagadas de dificultades técnicas, podrían ser factibles. Se pueden hacer cálculos estimativos de altura en base a imágenes estéreas. Como los datos pueden ser corregidos goemétricamente las interpretaciones pueden relacionarse automáticamente a las cartas fundamentales de inventarios, y eliminar así la costosa etapa de transferir datos a mano a las cartas fundamentales. Para tener esta ventaja es necesario tener el inventario en un SIG. Sin embargo, lograr la congruencia exacta de las imágenes con la cartografía a base de los mapas de inventario en todos los lugares será un problema que va a exigir solución porque tanto las imágenes como las cartas fundamentales contendrán errores y fallas.

El cálculo estimativo de la altura de los rodales es un componente difícil y decisivo. Los sistemas de laser que hacen perfiles altimétricos dan un perfil de copas a lo largo del curso de vuelo y son útiles para determinar la altura. A menudo hay suficientes pulsaciones que rebotan de la superficie del suelo como para poder hacer un cálculo de la altura del rodal (8,9). Se ha demostrado que los radares por infrarrojo lidar que registran la amplitud de las reflexiones de una sola pulsación de laser al pasar las copas del bosque dan medidas de la altura que satisfacen los requisitos de inventarios (10,11). La distancia entre la primera reflexión de la parte superior de las copas y la reflexión de la superficie del suelo da la altura del árbol. Muestras de la altura de los árboles tomadas a base de sistemas laser que vuelan simulta'nea o separadamente con fotografía aérea o datos de dispositivos aéreos de exploración podrían ser usados por los fotointérpretes como sitios de altura cuantificada con el objeto de calibrar sus interpretaciones de clases de altura. Es necesario estudiar más detenidamente esta técnica. Hay que investigar la determinación de la altura de los árboles desde alturas medianas y desde un dispositivo de exploración donde el barrido del laser se haga en dirección perpendicular a la dirección del vuelo. Se ha investigado la aplicación de los perfiles a base de laser y la tecnología del lidar en el cálculo estimativo del volumen. Estos estudios han tenido un éxito mediano (12,13).

La formación de imágenes por radar ha sido usada en los trópicos para levantar mapas forestales. La ventaja que tienen es su capacidad para dar imágenes aún cuando esté nublado. El

radar de abertura sintética, aunque no proporcione suficiente discriminación de tipos de bosques para la confección de cartas de inventario en Canadá, tiene algunas capacidades discriminatorias útiles, por ejemplo, algunas especies de madera blanda dan un eco distinto entre sí. Las señales de eco, sin embargo, no distinguen necesariamente entre esas y las de otros tipos forestales (14). Por lo tanto, las imágenes de radar tendrían que usarse en combinación con imágenes visible/infrarrojas. Sería factible integrar el radar con un aparato de datos visibles/ interfrarrojos, pero eso aumentaría la complejidad para la colección, procesamiento y análisis de los datos, y los beneficios obtenidos no justifican esos procedimientos. En algunos casos, puede ser adecuado usar datos de radar como una fuente de datos suplementaria a la fotografía aérea o el dispositivo de exploración.

Las capacidades de las nuevas tecnologías descritas aquí no han sido ensayadas a fondo ni se entienden del todo. No está claro si las ventajas de las nuevas tecnologías van a pesar más que las desventajas (major complejidad y costos adicionales en el procesamiento e interpretación de datos) y las dificultades inherentes a su desarrollo e implantación.

Otro de los principales componentes de los inventarios de administración es el muestreo en terreno. La mayor parte del trabajo de desarrollo en las técnicas de fotografía aérea en Canadá se ha llevado a cabo en la fotografía en gran escala (FGE) para recoger información detallada de los árboles con el objeto de suplementar las mediciones en tierra. El muestreo de terreno es el componente más costoso de los inventarios forestales y las técnicas FGE producen ahorros (aproximadamente en 1/2 ó 1/3 del costo) en la colección de información detallada sobre los árboles. La FGE ha sido verficada y utilizada en operaciones en varias provincias y territorios (por ejemplo, 2). La altura de los árboles y los procedimientos de evaluación del volumen o biomasa mediante el uso de sensores de laser podrían constituir una herramienta adicional en el análisis de lotes de muestra.

*Inventario de Reconocimiento*

Los métodos de reconocimiento se utilizan para hacer el inventario de treinta y uno por ciento de las terras boscosas en Canadá, fundamentalemente los bosques no comerciales del Norte. Se hace el inventario de un 14 por ciento adicional (para planificación regional) en forma menos intensiva que en los inventarios de administración (1). La cartografía de estos bosques requiere información menos detallada y los datos por satélite resultan a menudo suficientes. Las ventajas de la cartografía de reconocimiento por satélite son los bajos costos y la capacidad para producir rápidamente mapas e interpretaciones. Por ejemplo, un levantamiento de los bosques del norte de Quebec dió la superficie y la ubicación de estratos forestales y cálculos del volumen de la madera comerciable. Se usaron mejoras de los datos del Landsat de EME se usaron para determinar estratos de amplias categorías forestales de composición, densidad y edad. Muestras de terreno en cada estrato proporcionaron información sobre volumen. En poco más de un año se realizó el levantamiento de 495,000 $km^2$ a un costo aproximado de \$0.68/$km^2$ (15). En los estudios donde se usaron técnicas de clasificación no se obtuvo un éxito claro y la clasificación de datos del Lansat en la cartografía de reconocimiento se usaba en forma limitada.

*Actualización de los Mapas*

Los procedimientos y exigencias para la actualización de los inventarios varía mucho de provincia a provincia y dentro de cada provincia. En general, se ponen al día anualmente las ubicaciones y superficies de las principales reducciones de existencias forestales (por ejemplo, áreas de aprovechamiento a escala comercial y áeras de incendios) y otros mayores disturbios y

desmontes. La responsabilidad del levantamiento de mapas de las zonas explotadas recaé sobre las empresas explotadoras. Dentro de los procedimientos comunes utilizados en la cartografía de zonas de corte se incluye la foto aérea suplementaria (fotografía en 70 mm ó 35 mm tomada desde aviones livianos o helicópteros), fotografía aérea convencional con formato de 23 mm, imágenes de satélite, tirangulaciones, y registros de áeras no verficadas. El método más común es la fotografía aérea suplementaria a escalas de 1:5,000 a 1:50,000. El levantamiento de mapas de las zonas incendiadas es una tarea enorme. El promedio anual de incendios en la provincia de Canadá sobre un tamaño de hectáreas es de 1,000.

Estos incendios queman un promedio de 675,000 ha al año (16). Los métodos que se ocupan comúnmente en la cartografía de superficies incendiadas son la fotografía aérea, la cartografía esquemática aérea y de satélite.

El amplia área cubierta y los bajos costos de los datos de satélite hacen que sea ventajoso para detectar y delinear cambios forestales de importancia. La interpretación visual de los datos de satélite es efectiva para levantar mapas de zonas taladas y, en menor medida, las zonas parcialmente taladas. Los datos de satélite han estado siendo utilizados para este propósito, aunque no en forma rutinaria. Una excepción es la provincia de Colombia Británica donde los datos del Landsat han estado siendo usados en forma rutinaria para actualizar las zonas taladas (2). Las capacidades para clasificar las zonas taladas e incendiadas ha sido bien demostrata; sin embargo, la impresión visual continúa siendo el método más común para el uso operacional. Se han creado equipos para proyectar ye ampliar eficientemente transparencias de datos de satélite sobre mapas de inventarios forestales (17). Las áreas taladas e incendiadas pueden ser de esta manera actualizadas en forma eficiente. Los datos de satélite han sido utilizados intermitentemente para levantar mapas de las zonas incendiadas. En una aplicación, cubriendo una superficie de aproximadamente 1,000,000 $km^2$ y que requirió de 69 imágenes del Landsat, se levantó el mapa de la superficie incendiada en 1981 en los Territorios del Noroeste, mediante la comparación visual de transparencias a una escala de 1:1,000,000 hecha entre 1980 y 1981. La provincia de Colombia Británica utiliza ahora los datos del Landsat TM en forma efectiva para levantar mapas de las áreas incendiadas rápidamente y a bajo costo. En algunos casos se puede llegar a evaluar la intensidad de los daños ocasionados por los incendios.

Debido, en parte, a las superiores facultades del Landsat TM SPOT sobre el Landsat se está empezando a usar cada vez más los datos de satélite para actualizar los inventarios. La resolución del Landsat TM SPOT es de tal calidad que los encargados forestales pueden hacer la interpretación y delineamiento de las superficies incendiadas y taladas sin problemas. A medida que aumente el uso de los SIG para realizar los inventarios aumentará también el uso de los datos por satélite corregidos geométricamente. Los datos geométricamente corregidos del dispositivo aéreo de exploración con antenas colineales serán una atractiva alternativa, con el uso de los SIG, a la fotografía aérea convencional en la cartografía de los cambios. Un inconveniente importante es la obtención de datos sin interferencia de nubes, en el período deseado. Este problema se ve reducido con la mayor frecuencia de cobertura que ofrece el SPOT, con su capacidad para apuntar en distintas direcciones. El SPOT tiene una capacidad para repetir en tres días la cobertura de la mayor parte de los bosques del sur de Canadá. Si bien las imágenes de satélite por radar no son tan efectivas como las que transmiten los satélites con sensores visibles/ infrarrojos, se espera que proporcionen información adecuada para levantar mapas de las zonas taladas y la mayoría de las zonas incendiadas. Canadá está construyendo un sistema de satélite de formación de imágenes por sensor de radar en banda C (RADARSAT), que se espera podrá lanzar al espacio en 1994. Este sistema que tiene la capacidad para funcionar en todo tiempo, va a aliviar el problema de obtención de imágenes sin nubes, cuando así se necesitan y será un útil complemento a los datos de satélite de "visible/infrarrojo."

## PROTECCIÓN

*Incendios Forestales*

Dos de las principales áreas donde la información de la detección remota puede ser integrada con otros datos para ayudar a la protección contra los incendios forestales es la detección de incendios y la toma de decisiones en relación a las estrategias para combatir incendios. Anualmente hay un promedio de 8,000 a 9,000 incendios en Canadá (16). El principal problema en la detección de incendios es la necesidad de cubrir las vastas extensiones de bosques cnadienses escasamente pobladas. La técnica más común usada en la detección de incendios es la observación visual desde aviones livianos en vuelos rtuinarios. Los rastreadores lineales térmicos tienen capacidad para detectar incendios, pero no han sido utilizados en forma rutinaria en Canadá para este propósito. Gracias a los sistemas de navegación inercial y al uso del sistema universal de ubicación es posible desarrollar un sistema que sólo indique la situación donde se sospeche que hay incendios. No se necesitan imágenes de referencia geográfica. La dificultad con los rastreadores es hacer que éstos cubran una cantidad suficiente de incendios como para que sea un instrumento efectivo. Parte de este problema podría ser resuelto mediante una buena predicción de incendios y estableciendo las rutas del rastreador sobre zonas donde la peligrosidad de incendios sea alta. Es necesario que los datos del rastreador abarquen una zona de exploración amplia. En la actualidad se está investigando la posible utilización de la tecnología del rastreador térmico en el desarrollo de sensores de detección de bajo costo que podrían actuar como apoyo a las observaciones visuales hechas desde aviones livianos, cuando haya una visibilidad pobre debido a neblina o humo.

La predicción de incendios es un elemento decisivo en la detección de incendios. Los mapas de materiales combustibles en los bosques son importantes para predecir la ocurrencia de incendios. Los realces de los datos del Landsat DME han proporcionado a los encargados de la lucha contra incendios una visión general para poder interpretar la existenica de combustibles. Las clasificaciones de tipos forestales han proporcionado también datos sobre tipos de combustibles forestales al sistema de apoyo para las decisiones operacionales que diariamente hace predicciones sobre las zonas en grave peligro de incendio. Estas predicciones se hacen en base a un banco de datos a partir de información meteorológica proveniente de estaciones meteorlógicas, pronósticos del tiempo, radar de predicciones pluviales, tipos de combustibles de las clasificaciones del Landsat DME, datos topográficos, la red de localización de rayos, y datos históricos sobre incendios (18). Un módulo del sistema de apoyo a las decisiones determina la ruta óptima que debe seguir el avión de observación visual sobre las zonas donde haya un grave riesgo de incendios. La necesidad de mapas de material combustible por satélite disminuye ya que se pueden derivar a partir de las descripciones de rodales que se encuentran en los inventarios en los SIG.

La detección remota juega un papel en el despliegue de efectivos para combatir incendios y en la selección de las estrategias para suprimir incendios. El tipo de combustible forestal en el lugar de un incendio se usa para establecer las prioridades de despliegue de efectivos contra incendios. Se han creado modelos de propagación de incendios a partir de los datos de satélite sobre material combustible de propagación de incendio que preciden la rapidez y dirección de propagación del incendio (18). Se están utilizando sistemas sensores térmicos infrarrojos para mapear el perímetro de un incendio. En Canadá se están usando intermitentemente rastreadores lineales aéreos térmicos infrarrojos que producen una copia impresa para levantar mapas de los incendios. Existe el problema del costo y problemas logísticos para asegurar que siempre hay disponibles un sensor y un avión donde se necesitan. En el examen visual de los incendios se está

utilizando comúnmente sistemas manuales de formación de imágenes térmicas infrarojas térmicas que graban sobre una cinta de video y que se pueden operar desde un avión liviano o un helicóptero.

*Insectos y Enfermedades*

La información que se necesita en la actualidad sobre los daños ocasionados por insectos y enfermedades es una amplia panorámica de la ubicación y severidad de los daños forestales. Es necesario inspectionar grandes extensiones. En los últimos años, aproximadamente 20 millones de hectáreas de bosques se han visto igualmente afectadas por una defoliación entre moderada y severa, causada por la tortrix u oruga de la yema de la picea (*Choristoneura fumiferana* Clem.) en el este de Canadá. El examen del daño causado por la oruga de la yema de la picea ha cubierto, en algunos años, un área de cerca de un 1,000,000 de $km^2$ (19). En los últimos años la mortalidad fue causada por más de 8,000 infestaciones del gorgojo del pino rodeño (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins) en el oeste de Canadá, en aproximadamente 0.45 millones de hectáreas. En los casos de daños severos y extensos hay mapas y cuantificaciones más detalladas. Los exámenes se realizan con el objeto de ayudar a la planificación de los programas de exterminación de insectos y enfermedades, programas de evaluación de dicha exterminación, planificación de exámenes de evaluación más detallados o de campo, observación del estado y propagación de una enfermedad y de la infestación del insecto así como para planificar la recuperación de las operaciones de corta y acarreo y actualizar los inventarios forestales.

Los pedidos y usos de la información evaluadora del daño causado por insectos ye enfermedades están cambiando. La administración de los bosques dañados se está haciendo más intensiva y los programs de control más selectivos. Los administradores de bosques necesitan tener predicciones sobre la posibilidad y consecuencias de los daños y, recomendaciones sobre la forma de administrar bosques dañados y de seguir programas de control. Se necesita integrar los datos provenientes de una variedad de fuentes, así como modelos de población de insectos, conocimiento sobre el impacto de las infestaciones, y reglas para la forma de administrar. Por ejemplo, los datos de inventario se utilizan para el pronóstico de la susceptibilidad a las infestaciones de insectors, y el inventario, junto con la historia previa de daños anteriores, permite evaluar la vulnerabilidad al daño, información que sirve para fijar las fechas de aprovechamiento y programas de control. El uso de los SIG es clave para integrar las fuentes de datos. Los sistemas de apoyo a las decisiones y técnicas de informativa artificial serán instrumentos importantes que ayudarán a los administradores forestales a tomar complejas decisiones de gestión. Se necesita mejor información sobre los daños, y hay una creciente demanda de información detallada acerca del daño específico a los rodales (lotes).

La observación ocular hecha desde aviones livianos o helicópteros, particularmente en el levantamiento de mapas esquemáticos, es el método más común que se ocupa en Canadá para realizar la evaluación de los daños. Es un método rápido y barato para adquirir una visión panorámica amplia del daño. El costo generalmente varía entre \$0,01 a 0,06/$km^2$, siendo el costo típico \$0,025/$km^2$. El método, sin embargo, tiene deficiencias si se aplica a los problemas específicos de un sitio que requiera de una evaluación exacta y con referencia geográfica precisa de los daños. La fotografía aérea se utiliza en menor grado. Se han hecho reconocimientos aéreos de rutina con fotografía infrarroja a color de 1:40,000 para evaluar la mortalidad causada por la oruga de la yema de la picea en Terranova. En Alberta se utilizó fotografía de color normal a 1:20,000 para evaluar la mortalidad del gorgojo del pino rodeño, en operaciones de salubridad y recuperación. Los datos del Landsat DEM no se utilizan como instrumentos ya que sólo permiten detectar las extensiones con severa defoliación. Sin embargo, parece ser que su uso operacional es adecuado en la detección y localización de la defoliación de árboles de maderas duras causada

por la lagarta de los bosques (*Malacosoma disstria* (Hubner)) y la tortrix o gusano de las yemas de la picea (*Lymantria dispar* (L.)). Se ha mejorado la capacidad del Landsat Cartográfico Temático y del SPOT ARV para evaluar los perjuicios, aunque es posible que sea difícil obtener resultados convenientes en un uso operacional constante. Sin embargo, no es necesario que las técnicas tengan un resultado garantizado para que se conviertan en instrumentos poderosos y efectivos en la evaluación. Una ventaja del sensor SPOT es su capacidad de orientación que le permite observación lateral. Esto aumenta la posibilidad de una cobertura repetida sobre un lugar dado y, por lo tanto, la probabilidad de obtener datos durante los períodos, a menudo breves, en que se tienen condiciones óptimas de detección de indicaciones de ciertos daños. La adquisición oportuna de imágenes sin nubes de satélites sigue siendo, sin embargo, un problema. La evaluación de los daños en bosques de composición mixta, digamos la defoliación de especies de madera blanda en un rodal mixto, es también un problema. Se han hecho análisis depurados de las técnicas de detección de cambios (por ejemplo, la vista de un año o una época de un año con la del siguiente) si bien tales técnicas podrían mejorar la efectividad de los datos por satélite en la evaluación de daños.

Los rastreadores aéreos multiespectrales tienen varias ventajas que se pueden aplicar en la evaluación de los daños. Algunas de las importantes características son flexibilidad para escoger el momento oportuno de recolección de datos, resolución y bandas espectrales registradas. Se ha tenido un éxito moderado en las clasificaciones computerizadas automáticas de las diferentes categorías de daños. Tal como ocurre con los datos por satélite, es difícil realizar la evaluación de los daños en los rodales mixtos. La interpretación visual de las imágenes realzadas o la utilización de técnicas de detección de cambios podría ofrecer soluciones prácticas a este problema. Las bandas espectrales optimizadas para registrar daños específicos ayudarán a evaluar daños. Los adelantos recientes en la tecnología de los dispositivos aéreos con antenas colineales tienen aplicaciones operacionales potenciales. También se pueden optimizar las bandas estrechas de longitud de onda con el objeto de detectar daños. El uso de sistemas de datos de navegación inercial facilita la corrección geométrica eficiente de las coordenadas cartográficas, permitiendo así la integración de los resultados a los inventarios forestales en los SIG. Los datos auxiliares sobre composición forestal, historia de defoliaciones previas, y topografía obtenidos por los SIG pueden ser utilizados para mejorar las interpretaciones y clasificaciones automáticas. Debido al perfeccionamiento de los dispositivos para obtener correcciones geométricas, las técnicas de detección de cambios a partir de datos aéreos son factibles por primera vez. Las técnicas de reconocimiento que utilizan imágenes aéreas serán más caras que los actuales métodos de diseño de mapas. No está claro en este momento si las agencias forestales están dispuestas a pagar el costo adicional de esta información extra sobre los perjuicios.

La obtención de imágenes aéreas de alta resolución es satisfactoria para hacer muestreos de evaluación de daños en un sitios específico o incluso en unidades. Con el uso de los dispositivos de exploración con antenas colineales es factible una resolucion de 0,3 m. Otra tecnología aérea para obtener evaluaciones de daños que se está investigando es la espectrometría de imagen. Estos sensores obtienen una completa curva espectral, inclusive bandas espectrales angostas de lo visible y/o lo infrarrojo (20,21). Esta tecnología podría ser útil en la evaluación sutil de diferencias espectrales ocasionadas por los daños.

## SILVICULTURA

Generalmente los inventarios de administración, inventarios operacionales y reconocimientos para fines especiales indican la necesidad de operaciones y planificación silvicultural. La inspección de terreno e interpretaciones de las características del sitio por

fotografía aérea determinan los trabajos de preparación del sitio. Se utilizan fotografías de inventario o las fotografías tomadas para actualizar los inventarios forestales después de las operaciones de aprovechamiento. El tipo de sitio es un parámetro decisivo que se utiliza para determinar las estrategias de regeneración. Este parámetro se obtiene a partir de exámenes de terreno y fotografías aéreas. También se usan a veces datos de satélite para ayudar a preparar mapas de las distintas clases ecológicas que, a su vez, contribuyen a determinar el tipo de sitio. Otros factores, tales como elevación, declive, aspecto, e irregularidad, son parámetros que están adquiriendo cada vez mayor importancia en la planificación. Estos parámetros se obtienen a partir de fuentes de detección remota y pueden ser introducidos en SIG.

Se hacen evaluaciones de regeneración a varios niveles de especificaciones. Muchas jurisdicciones exigen que se hagan estudios de regeneraciones en todas las áreas taladas dentro de un plazo de 5 años con el objeto de asegurar una regeneración satisfactoria. Generalmente se efectúan estos estudios al año o dos años después de la plantación, con el propósito de medir la tasa de supervivencia. Generalmente los métodos de detección remota no son adecuados para la observación de la regeneración y plantación reciente, porque debido a su pequeño tamaño, la vegetación del lugar es más alta. Los estudios de plantaciones o de rodales naturales prueban la necesidad de actividades forestales (por ejemplo, operaciones de clareo). La fotografía a gran escala (FGE) tiene la capacidad de proporcionar información adecuada sobre especies, altura, grado de espesura y concentración (22). Tiene la ventaja de ser más barata que los costosos levantamientos terrestres. La utilidad práctica de los levantamientos en base a FGE depende de las exigencias específicas de cada levantamiento, de la superficie y de su accesibilidad. Se han ensayado sistemas de muestreo polifásico o de varias etapas con fotografías a pequeña escala para la estratificación de las áreas de regeneración y la FGE para cuantificar las regeneraciones (23). La capacidad para realzar y establecer eficientemente la referencia geodésica de los datos proporcionados por los dispositivos de exploración con antenas colineales hace que tales sensores sean un instrumento interesante para la estratificación y muestreo de la regeneración. Los datos por satélite, especialmente los obtenidos con la nueva generación de satélites de alta resolución, tienen la capacidad de determinar los grados de estratificación de las regeneraciones. Hasta la fecha no se han investigado adecuadamente los procedimientos para detectar cambios.

Debido al creciente número de plantaciones, la supervisión de la condición de los árboles se está convirtiendo en una preocupación cada vez mejor. Las técnicas de detección aérea remota se convertirán en un instrumento improtante en la supervisión de las plantaciones.

## CONCLUSIÓN

La detección remota es parte integrante de la gestión forestal canadiense. El sector forestal es uno de los mayores usuarios de la fotografía aérea convencional en Canadá. La industria forestal es uno de los más grandes compradores de datos por satélite en Canadá. Uno de los campos más activos en la investigación de técnicas de detección remota es la investigación y desarrollo de las aplicaciones de la detección remota digital en silvicultura. Canadá ha tenido una larga historia de puesta en práctica y desarrollo de aplicaciones forestales de la detección remota. En las décadas de 1920 y 30 fue uno de los pioneros en el uso de la fotografía aérea en silvicultura y, en los años 50, en la preparación de inventarios de administración de grandes áreas mediante el uso de la fotografía aérea. Está a la cabeza en el desarrollo de la fotografía a gran escala para fines forestales. Las actuales tendencias en la gestión forestal, la creciente demanda de información forestal, el desarrollo de una infraestructura tecnológica en el seno de la comunidad forestal, y los adelantos en la tecnología de detección remota indican que continuarán produciéndose innovaciones y desarrollándose las aplicaciones forestales de la detección remota.

## REFERENCES/OUVRAGES DE RÉFÉRENCE/BIBLIOGRAFIA

(1) Bonnor, G.M. 1982. Canada's forest inventory 1981. Forest Statistics and Systems Branch, Canadian Forestry Service, Chalk River, Ont. 79 p.

(2) Hegyi, F. and R.V. Quenet. 1983. Integration of remote sensing and computer assisted mapping technology in forestry. Canadian J. of Remote Sensing. 9(2):92-98.

(3) Erdle, T. and G. Jordon. 1984. Computer-based mapping in forestry: a view from New Brunswick. Canadian Forest Industries. April:38-46.

(4) Bonnor, G.M. 1982. Forest inventories in Canada. Forestry Abstracts. 43(4):201-211.

(5) Leckie, D.G. and A. Dombrowski. 1984. Enhancement of high resolution MEIS II data for softwood species discrimination. 9th Canadian Symp. on Remote Sensing. St. John's, Nfld. Aug. p. 617-626.

(6) Till, S.M., W.D. McColl, and R.A. Neville. 1983. Remote sensing using the airborne MEIS II multi-detector electro-optical imaging scanner. Proc. EARSeL/ESA Symp. on Remote Sensing Applications for Environmental Studies. Brussels. April. p. 87-92.

(7) Gibson, J.R. 1984. Processing stereo imagery from line imagers. 9th Canadian Symp. on Remote Sensing. St. John's, Nfld. Aug. p. 471-487.

(8) Schreier, H., J. Lougheed, C. Tucker, and D. Leckie. 1985. Automated measurement of terrain reflectioni and height variations using an airborne infrared laser system. Int. J. Remote Sensing. 6(1):101-113.

(9) Krabill, W.B., J.G. Collins, L.E. Link, R.N. Swift, and M.L. Butler. 1984. Airborne laser topographic mapping results. Photogramm. Eng. 50(6):685-694.

(10) Nelson, R., W. Krabill, and G. Maclean. 1984. determining forest canopy characteristics using airborne laser data. Remote Sensing of Environment. 15:201-212.

(11) Aldred, A.H. and G.M. Bonnor. 1985. Applications of airborne lasers to forest surveys. Information Report PI-X-51. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, Chalk River, Ont. 62 p.

(12) Dendron Resource Surveys Ltd. 1987. Estimation of forest biomass using pulsed laser technology. Contract Report. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, Chalk River, Ont. 34 p.

(13) Maclean, G.A. and W.B. Krabill. 1986. Gross-merchantable timber estimation using an airborne lidar system. Canadian J. Remote Sensing. 12:7-18.

(14) Leckie, D.G. 1983. Preliminary results of an examination of C-band synthetic aperture radar for forestry applications. 8th Canadian Symp. on Remote Sensing. Montreal, Quebec. May. p. 151-164.

(15) Letourneau, J.P. and A. Guimond. 1984. La télédétection par satellite son intégration au système d'inventaire forestier du Québec. 9th Canadian Symp. on Remote Sensing. St. John's, Nfld. Aug. p. 595-599.

(16) Ramsey, G.S. and D.G. Higgins. 1981. Canadian forest fire statistics, Part I-1978, Part II-1979. Information Report PI-X-9. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, Chalk River, Ont. 71 p.

(17) Moore, H.D. and C.A. Jeffery. 1983. Pilot study to test the cost effectiveness of Landsat images to monitor and map forest depletions. Unpublished report for Forest Statistics and Systems Branch, Canadian Forestry Service, Chalk River, Ont. 16 p.

(18) Kourtz, P.H. 1984. Decision-making for centralized forest fire management. Forestry Chronicle. 60(6):320-327.

(19) Dorais, L. and E.G. Kettela. 1982. A review of entomological survey and assessment techniques used in regional spruce budworm, (Choristoneura fumiferana [Clem.]), surveys and in the assessment of operational spray programs. Report of the Committee for the Standardization of Survey and Assessment Techniques. Eastern Spruce Budworm Council. Quebec Dept. of Energy and Resources. Quebec City, Quebec. 43 p.

(20) Borstad, G.A., H.R. Edel, J.F.R. Gower, and A.B. Hollinger. 1985. Analysis of test and flight data from the Fluorescence Line Imager. Canadian Special Publ., Fisheries and Aquatic Science 83. Dept. of Fisheries and Oceans, Ottawa, Ontario. 38 p.

(21) Goetz, A.F.H., G. Vane, J.E. Solomon, and B.N. Rock. 1985. Imaging spectrometry for Earth remote sensing. Science. 228:1147-1153.

(22) Hall, R.J. 1984. Use of large-scale aerial photographs in regeneration assessments. Information Report NOR-X-264. Northern Forest Research Centre, Canadian Forestry Service, Edmonton, Alta. 31 p.

(23) Goba, N., S. Pala, and J. Narraway. 1982. An instruction manual on assessment of regeneration success by aerial survey. Ontario Centre for Remote Sensing, Ontario Ministry of Natural Resources, Toronto, Ont. 49 p.

# MEXICAN NONWOOD FOREST PRODUCTS

# PRODUITS FORESTIERS NON LIGNEUX DU MEXIQUE

# PRODUCTOS FORESTALES NO MADERABLES EN MEXICO

Ing. Luis A. Gonzales Leija

Instituto Nacional de Investigaciones Insurgentes

Sur 694

9 Piso

Mexico DF 03100

## EXECUTIVE SUMMARY

*This paper deals with nonwood forest species that are native to Mexico and yield products of commercial value. These species include plants that yield: hard fibers (lechuguilla, palma samandoca and palmilla); waxes (candelilla and jojoba); resins and latex (guayule rubber, pine resin and chicle); steroid hormones; seasonings (oregano and pepper), and other products. The description, in each case, includes characteristics of the plant and its habitat, and a discussion of the harvesting system employed, as well as the purpose for which the product is used. Finally, the prospects for this industry are analyzed and conclusions are presented.*

## INTRODUCTION

Non-timber-yielding forest products in Mexico have their origins in the utilization of a series of plant species, most of which are used in their wild state in the country's different ecosystems.

Although non-timber-yielding forest products account for only 5% of overall forest production, they are considered important as a source of employment for a large number of people living in the areas where they are found, and in some cases this activity constitutes their only source of employment.

Overall production of non-timber-yielding resources is very variable as they are mostly export products, and the demand for them largely depends on price fluctuations on the world market.

Owing to the country's wide variety of flora, because of its situation between the northern temperate zones and the tropical regions, and to the fact that the Forestry Law conceives forest vegetation as "constituted by treelike, shrublike, herbaceous, spiny and graminaceous forms that develop spontaneously and continuously", there is broad diversity in the number and types of non-timber-yielding forest products. This study therefore covers only products of major economic and social importance, such as fibers, waxes, resins, steroids, condiments and foodstuffs.

## HARD FIBERS

*Ixtles*

Ixtles are non-timber-yielding products that are obtained from cutting the *Agave lechuguilla* and the *Yucca carnerosana*, which are species with a broad distribution in Mexico's Chihuahua Desert.

In view of the strong competition that ixtles have experienced from synthetic fibers, their utilization and commercialization have undergone strong fluctuations, especially when the product is exported.

The lechuguilla ixtle is obtained from cutting the core of the *Agave lechuguilla*, of the Agavacea family, which has the appearance of a rosette with dark green fleshy leaves 20 to 25 cm in length which sprout from the neck of the root since it has no stem. The young leaves form a homogeneous whole with layers of leaves covering the tenderest leaves, which is the utilizable portion for extracting the fiber or ixtle, and is known as the "core".

Its ideal environment is mountains of limestone origin and flat areas, provided they have good drainage conditions, that is, stony soils, with unevenly distributed precipitation of 120 to 200 mm annually and mean temperatures of 18 to 22°C and it has a high resistance to frosts.

Lechuguilla is unevenly distributed over a surface area of 70,000 $km^2$ in the states of Coahuila, Nuevo Leon, San Luis Potosi, Tamaulipas and Zacatecas, with variable density per hectare.

The palm ixtle is obtained from *Yucca carnerosana*, which is a caulescent, symmetrical and generally simple plant, which in some cases forms dense clusters of various trunks of different sizes joined at the base. The trunks range from 1.5 to 6 m in height, in some cases reaching 10 m. The trunk ends in a rosette of sessile leaves of a bluish green color and a length between 50 and 100 cm. At the center there is a group of tender leaves comprising the core, from which the fiber is extracted.

The palm generally grows at altitudes between 1,000 and 1,800 m, preferably on stony limestone slopes, and is distributed irregularly among the other components of rosette-shaped scrub.

It grows in alluvial soils of limestone origin and in some valleys with outcrops of gypsum, with precipitation ranging from 296 to 600 mm annually and a mean annual temperature of 23°C, and is distributed in the states of Coahuila, San Luis Potosi, Zacatecas, Durango and Nuevo Leon.

Ixtles have a variety of uses and applications, the most important of these being the production of "cares" and "colas" as they are used in the manufacture of metal-polishing brushes, paint brushes, and brushes for domestic use; ixtles are also used for making threads, ropes, cords and lariats, undercarpets, grain sacks and covers for cotton bales.

Generally, the method used to obtain ixtle from the *Agave lechuguilla* and the *Yucca carnerosana* begins with harvesting of the product by the "ixtlero" in the field, using a pole ending in a steel ring. The cores are broken off with the ring and stored in bags for transportation to the processing center in 70 or 80 kg bundles.

Extraction of the fiber is different for *Yucca carnerosana* and *Agave lechuguilla*. In the first case, the cores are boiled for 5 to 8 hours and then scraped. This process is not necessary for *Agave lechuguilla*.

The traditional system for cutting involves removing the core's pulp with a knife and placing the fiber in the sun to dry, but in 1980 Forestal F.C.L.* introduced an electrical cutting

* Company with government and *ejido* capital in charge of industrializing and marketing ixtles.

machine which made production more efficient, since before, the "ixtlero" collected the cores 1 day and cut them the next, whereas the machine allows the whole process to be accomplished in 1 day.

In 1986, 6,669 tons of ixtles from *Agave lechuguilla* and 4,462 tons of ixtle from *Yucca carnerosana* were produced, with a total value of 1,897 million pesos (data: Forestal F.C.L.).

Currently, the economy of some 50,000 families depends on the harvesting and cutting of *Agave lechuguilla* and *Agave carnerosana* in Mexico's arid zones, as the climate is unsuitable for any secure agricultural activity.

Since *Agave lechuguilla* and *Yucca carnerosana* tend to disappear, at least in the areas close to the *ejidos* that utilize them, obliging compesinos to cover distances of up to 50 km to produce 5 to 6 kg of fiber a day, the Secretariat of Agriculture and Water Resources (SARH), through the National Institute of Forestry and Agricultural Research (INIFAP) has embarked upon the task of selecting and establishing techniques to rehabilitate overexploited areas.

To that end, a study was made of traditional harvesting systems so as to determine needs for improving exploitation techniques and test other alternatives.

The progress achieved in research has permitted the development of techniques for using young shoots from adult plants and for transportation and handling methods. With these results Forestal F.C.L. and the SARH Forestry Programs have implemented reforestation programs in some areas that were formerly highly productive.

Given the plants' rusticity, their low need for water and their broad adaptability, techniques have been discovered for establishing low-cost forestry plantations where selection of certain ecotypes has produced 2-year cycles instead of 4 or 5 years in their natural state.

In order to achieve comprehensive exploitation of *Agave lechuguilla*, joint studies are being carried out by INIFAP and the Petroleum Institute to extract saponins from the waste product (guichi) which at present has no specific use.

*Palmilla Fiber*

Palmilla fiber is obtained from the "Palmilla" or "Hierba del Osa" (bear grass) which are the common names used without distinction for two species of the genus Nolina, which belongs to the Liliaceae family and are perennials with underground stalks and clusters of numerous leaves 12 mm wide and around 2 m long, giving the appearance of a thickly tufted pasture.

It is found on plains, groups of even, low hills and on low slopes, at altitudes of approximately 900 to 2,000 m above sea level, in very shallow, stony soils of igneous origin, at mean annual temperatures of 18 to 22°C and average rainfall of 400 to 600 mm a year; it occurs in semi-open pastures, in clusters and narrow-blade subarid shrubland, principally in the states of Sonora, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, San Luis Potosi, Zacatecas and Nuevo Leon.

Palmilla fiber is used as the main component of the rollers and discs of mechanical road sweepers, and is widely accepted on the market, especially in the United States of America. It is also used in the manufacture of brooms, brushes, swabs, the nucleus of explosives and in some handicrafts.

The system of exploitation in the field begins with the product in its natural state and consists in cutting the foliage with a sickle at a height of approximately 10 cm from the base, and making bundles weighing approximately 30 kg; it is then transported on beasts of burden to the edge of the road, from where they are taken by trucks to the processing plant, known as "palmillera". Here it is cut to size according to intended use; for road sweepers it is cut to a length of 45 in., packed, and dispatched to the United States market; for the manufacture of brushes, brooms, swabs and the nucleus of explosives, the first 16 in. from the base is cut, and this is first-class material because it is harder and less brittle, and the second cut is made at 16 in, leaving second-class material; after cutting, it is passed through a mechanical shredder and the fiber obtained is dried for 24 h, packed in 70 kg bales and also exported to the United States.

Annual production varies widely, and ranges from 8,000 tons to 1,900 tons, owing to the fact that marketing largely depends on international demand. In 1986, production totalled 2,200 tons with a value of 50,000 pesos per ton (Bureau of Forestry Standards).

In regard to the employment generated by this type of activity, it is estimated that 1,500 persons in the northeastern region of the country, particularly in the state of Sonora, dedicate themselves to this task.

In a diagnostic study previously carried out by INIFAP, it was found that one campesino can produce between 400 and 600 kg of palmilla leaf, depending on the density per ha and the distance travelled, with cycles of 2 to 3 years depending on the area.

Since palmilla is a little-studied resource whose features in different conditions and its correct management largely remain unknown, studies are being carried out on the ecology of the species in order to find out its interrelation with the environment in its area of distribution and its phenology, which together with the information already available on the traditional management system, will allow the implementation of a research program to manage and conserve this resource.

## WAXES

*Candelilla Wax*

Candelilla wax is a product harvested from a Mexican desert plant commonly known as candelilla (*Euphorbia antisyphillitica* Zucc.) which is native to the Chihuahua Desert of Mexico and to the southeastern region of the United States of America.

In Mexico it is found in the States of Coahuila, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Nuevo Leon, Tamaulipas and San Luis Potosi, and grows in calcareous soils of colluvial origin, of shallow depth (less than 25 cm) and sandy texture, with average rainfalls ranging between 120 and 200 mm with erratic distribution and mean annual temperatures of 18 to 22°C, and is able to resist maximum temperatures of 47°C.

Candelilla forms part of vegetation called narrow-blade shrubland and is associated with *Agave lechuguilla, Hechtia glomerata, Dasylirion berlandieri* and *Agave striata.*

Owing to its physiochemical properties, candelilla wax has a variety of uses, among the most important being the manufacture of chewing gums, candy coatings, polishes or glosses, coating for wrapping papers, hygienic packaging, paints, and mixed with rubber it is used in the manufacture of electrical appliances.

The method of exploitation basically consists of two phases: harvest of the plant and extraction (in processing centers), and refining the wax. Harvesting the candelilla in the field basically consists of manual extraction by uprooting the plant, which is grasped by the root and shaken to eliminate the dirt; at present the candelilla harvester has to arrange for his own transportation either by beast of burden or motor vehicle up to a distance of 35 km, since the plant has disappeared from areas close to processing centers.

It is in the processing center where primary extraction of the wax takes place, and this basically consists in using special receptacles called "pailas" in which acidified water is heated, using processed candelilla grass as fuel. When boiling, it is filled with between 240 and 260 kg of compressed candelilla, and sulphuric acid is added in a proportion of 8% in relation to the weight of the plant; with this process the wax begins to dissolve and it is collected with a small sieved scoop called a skimmer. It is boiled once more so that the impurities settle and the wax floats; the resulting wax is what the harvester sells.

Refining takes place by fusion of the wax in refining pans, adding sulphuric acid once again and eliminating impurities by decanting. It is then transferred to decanting basins where it solidifies and is later cut manually into small pieces. This is the product that is marketed.

The economy of around 260 *ejidos* and 9,500 compesinos in the arid zones of the states of Coahuila, Chihuahua, Durango and Zacatecas depends on the exploitation of candelilla, which represents for them an income of 960 million pesos, with an annual production of over 3,000 tons of wax. This means that approximately 150,000 tons of candelilla plant are destroyed annually.

Since the technology for exploitation of the resource has remained unchanged over the years, causing the virtual disappearance of the resource in some highly productive areas, the Mexican Government, through the Secretariat of Agriculture and Water Resources, has recently intensified research so as to find more efficient methods of exploitation of the resource and extraction methods that optimize quantity and quality of candelilla wax.

Initial research was aimed at determining the most suitable method of harvesting, in such a way as to conserve the necessary vegetable matter for the plant to recover efficiently and be able to be utilized on a continuous basis, since the "uprooting" method allows no recovery of the plant whatsoever; research showed that cutting back 50% of the plant resulted in the best recovery. Regarding the cutting season, experiments showed that the most suitable time for harvesting the plant is in April, and production could be increased to 8.3% with the traditional method of extraction in pans, whereas it normally stands between 2 and 4% in other months.

In order to rehabilitate overexploited areas through reforestation or the establishment of plantations, research projects were carried out on the plant's methods of reproduction, and it was found that the best system was the asexual one, so that by planting a piece of rhizome with 5 shoots, a new plant could be started.

Once a system for mass reproduction of plants had been discovered, tests were carried out on establishing plantations during the rainy season, and it was found that a distance of 50 cm between plants and 1 m between rows was the most suitable.

Studies of a genetic nature are also being carried out, beginning with the selection of ecotypes and/or varieties in order to determine those with the best qualities of adaptability and wax yield.

At the same time, studies are being made to broaden the range of uses for candelilla wax. The Commission on Arid Zones and the National Autonomous University of Mexico succeeded in preparing an emulsion based on candelilla which has been used with satisfactory results to conserve limes, mangoes, avocados and prickly pears, among other produce.

The Petroleum Institute, in coordination with the Secretariat of Agriculture and Water Resources, is testing a plant for extraction of candelilla wax with recoverable organic solvents, which not only results in purer wax, but extraction can also be increased by 10% over the "paila" system, which in addition to increasing harvesters' income will make the product more competitive on international markets.

*Jojoba Wax*

Jojoba wax is a non-timber-yielding forest product obtained from the seed of *Simmondsia chinensis* (jojoba), which is a green, woody shrub of the Buxaceae family, reaching a height in natural conditions of 60 to 90 cm, and in some cases up to 5 m, with opposing, oblong, thick leaves with a coriaceous consistency. It is a dioecious plant, although a few monoecious specimens have been found, and its seed is dark brown, rather like a nut and rich in oils. It takes jojoba 2 years to reach its first flowering, and between 4 and 5 years to formalize production.

It is found in most of the Sonora Desert, which covers the southeastern part of Arizona and California in the United States and the states of Sonora, Baja California and Baja California Sur in Mexico.

It is associated with species of succulent shrublands and to a lesser extent with halophyte species, and is found at altitudes below 260 m in well-drained, sandy and clay-sand soils with average annual rainfall of 182.1 mm, with maximum precipitation from August to September and winter rains, and a mean temperature of 23.1°C with no frosts.

The wax has the following uses: as a lubricant for machinery, in view of its resistance to high temperatures, in the manufacture of cosmetics (oils, shampoo and soaps), in pharmacopoeia as the carrier for some medicinal preparations, as polish for furniture and cars, in the manufacture of candles, because of the small amount of smoke it gives off when burnt, and as protection against dehydration of fruits.

At present seed production is largely from the wild; the seeds are harvested manually and placed in ixtle or canvas bags, and up to three harvests a year are required, since the jojoba ripens at different times of the year.

Current production stands at 750 to 800 tons of jojoba seed a year, with a value in the order of 720 million pesos (price: Bureau of Forestry Standards), which yield around 387 tons of liquid wax, which is mainly exported to the United States and European markets; about 10,000 campesino families in the states of Sonora, Baja California and Baja California Sur depend on its exploitation in the wild.

The Commission of Arid Zones operates a wax-extraction plant in Ensenada, Baja California, which processes the seed for harvesters and at the same time aids in marketing the wax on international markets. In other cases, the collector extracts the wax with presses designed to extract olive oil.

The diversification of products derived from liquid wax makes jojoba a species of strategic economic interest, principally due to its application in lubricants.

Since expected demand for liquid wax in the near future is far greater than the supply that can be gathered in the wild, and in view of the disadvantages of the drastic fluctuations in production from the wild, in Mexico the National Institute for Forestry and Agricultural Research (INIFAP) is engaged in a broad research program that includes both a study of jojoba in its wild state and experimental programs aimed at domestication and cultivation.

In order to gain more knowledge of the environmental conditions in which the plant grows in its natural area of distribution, ecological studies have been made along the Baja California peninsula, which in conjunction with the research carried out by the University of Sonora, have succeeded in covering the whole of the species' area of distribution; these studies have provided information on the minimum and optimum conditions in which the plant grows, and located the areas that produce high-quality seed, which will be the source of reproductive material for future studies.

Since the jojoba has been affected in some areas by the impact of large and small cattle as well as of wild animals because the foliage serves as a fodder, areas of exclusion have been established so as to study on the one hand, the natural evolution of the areas when they are protected, and on the other, to enrich the stand through reforestation or to test systems that allow greater utilization of run-off water through contour furrows, micro-watershed systems of the horseshoe, trench and ditch types.

In reference to domestication, techniques have been discovered for mass reproduction of the species, nursery management, methods of soil preparation, density of cultivation, phyto-sanitary systems, fertilization and plantation management, which has permitted semi-commercial plantations to be set up to provide information on economic aspects of cultivation and to complement the technological package.

## RESIN AND LATEX PRODUCERS

*Guayule Rubber*

Although in the past there was great demand for guayule rubber, it lost its market share due to the large quantity of resin that the latex contained and the difficulties involved in eliminating it. Since the technology for eliminating the resin has recently been developed and rubber of a quality comparable to that of hevea can be extracted, it can now compete with the latter, but above all it can reduce the shortage of rubber currently experienced by the industry.

A government project headed by the National Commission on Arid Zones is under way to establish a guayule processing plant with a capacity of 25.000 tons of wild guayule.

The guayule (*Parthenium argentatum*) is a grayish colored shrub, of the family of Composites, that can reach a height of up to 1 m. The new branches are silvery, which accounts for the name of the species, argentatum. It contains 10-15% rubber, 7-8% resins, 30-40% cellulose and 20-30% humidity. In addition to being a vegetable species that produces rubber, it can also be used as an adhesive for varnishes and paints.

The guayule is found at altitudes ranging from 600 to 1,800 m above sea level in clay soils with rainfall between 140 and 250 mm a year, and it withstands temperatures between -14° and 44°C.

It is distributed in the states of Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosi, Nuevo Leon, Chihuahua, Durango, Tamaulipas and Querétaro.

In order to be ready for a possible resurgence in the use of guayule, some research projects have been carried out in which the following advances have been made:

A forestry study of the species has been carried out in the states of Coahuila, San Luis Potosi, Nuevo Leon, Chihuahua and Durango.

Ecotypes have been collected in the area of distribution by INIFAP and the "Antonio Narro" University, and the latter is proceeding with studies on management of the different ecotypes collected.

A study was conducted in the season of intensive cutting in the wild, in which INIFAP found that with a 60% cut recovery was achieved in 3 years.

*Pine Resin*

The importance of resin in Mexico lies not only in the production aspect but also fundamentally in the socio-economic sphere, since owing to the establishment of prolonged closed seasons for timber exploitation, resin tapping constituted the only forest harvest in extensive pine-covered areas and was one of the few sources of employment in the sphere of the rural *ejido*.

Diverse species of pine are used for resin tapping in Mexico, the most important being *Pinus douglasiana, P. leiophylla, P. oocarpa, P. montezumae, P. Lawsoni*, and *P. michoacana*, among others, and commercial exploitation centers in the states of Michoacan, Jalisco and Mexico in that order of importance, with production on a smaller scale in Durango, Nuevo Leon and Puebla.

Resin is widely used in the manufacture of waxes, paints, soaps, adhesives and in some pharmaceutical products.

Resin tapping in Mexico's pine forests for commercial ends has continued for more than 50 years, and a number of resin-tapping systems have been used, such as the "Cajete" System, the Crott System, the Fishbone or German-American System, but the harm these inflicted on trees caused the Forestry Service to ban their use and in 1937 ordered exclusive use of the French or Hughes System, a measure which was not fully enforced until 1959.

This system, according to Mas Porras (1981) consists of: debarking, which is stripping the cortex with a flat ax along a strip slightly wider than the face to be tapped for the year; opening the face, which consists in making a transversal incision in the lower part of the wood at

a height that allows placing of the bowl into which the resin flows. The face that is opened measures 10 cm horizontally, 3 cm vertically and 15 cm in depth, and this is accomplished with a flat or curved ax; once the face has been opened a "visera" (channeling device) 12 cm long by 3.5 cm wide is inserted in the lower part, and the "visera" is raised 50 cm a year to channel the resin into the bowl; "Pica", an upward incision 1.5 cm deep. The "pica" process is carried out every 5 days during the rains and every 8 days for the rest of the year; collection: after 2 to 4 "picas", the bowls are removed and emptied into cans for transportation to the place where it is concentrated.

Annual resin production is in the order of 43,000 tons with a field value of 13,760 million pesos (price: Bureau of Forestry Standards); it is estimated that almost 2,400 families earn their livelihood from resin.

The labor involved in resin tapping is still low-cost in Mexico in comparison with other producing countries, which is a favorable situation from the point of view of trade. It should, however, be pointed out that resin prices are dictated by the international market, and there is a trend to reduce resin production in producing countries where labor costs prevent the resin industry from being cost-effective.

In order to improve and optimize resin-tapping systems in Mexico, in 1950 Avila Hernandez carried out the first experiments in stimulated resin tapping, testing different concentrations of sulphuric acid and different rates of application on faces using the Hughes system. This research was continued by the Barranca de Cupatitzio, Mich. Experimental Field of INIFAP, where the following results were obtained: *Pinus michoacana* var. *cornuta*, which has a low yield, increased production by 40% when stimulated with sulphuric acid; low-production pines tapped mechanically, which affects the sapwood, are more sensitive to the action of stimulants; the species *Pinus oocarpa* and *P. leiophylla*, which are resin producers par excellence, gave variable increases between 15 and 25%.

As part of the research program on resins, the "American System of Cortex Tapping with Stimulants", also known as the "Pica de Corteza" system was tested, and it was found that with the method using a 60% solution of sulphuric acid in forests where *Pinus douglasiana* and other species that are not normally good resin yielders predominate, such as *Pinus michoacana*, *P. herrerai*, *P. pseudostrobus* and *P. lawsoni*, production could be increased by carrying out the "picas" every 12 days, but this information must first be verified on another level and an economic study made.

*Chicle*

Chicle is a product obtained from the latex yielded by the trunk of the tree known as nispero zapote or chicozapote (*Manilkara zapota* L.).

The chicozapote is a tree up to 40 m in height and 125 cm in diameter with a dark-colored ribbon cortex, petiolar leaves and edible oval fruit more than 6 cm in diameter.

It has a profuse distribution throughout Mexico's tropical regions, along the Gulf of Mexico from San Luis Potosí to Yucatan and on the Pacific Coast from Nayarit to the state of Chiapas, as part of the flora of Tall Evergreen Tropical Forests and Medium Partly Evergreen Tropical Forests in well-drained clay, igneous or metamorphic soils and at altitudes ranging from 400 to 800 m above sea level.

At present chicle is used in the manufacture of chewing gum, but according to studies carried out by the Mexican Foreign Trade Bank, it can be satisfactorily used in the manufacture of adhesive plasters, water-resistant varnishes and mixed with rubber, as insulation for electrical cables.

National chicle production basically comes from exploitation of the chicozapote in the states of Campeche, Quintana Roo, Chiapas and Veracruz, where around 600 tons a year are produced and exported to the United States, Japanese and Italian markets.

Chicle is one of the non-timber-yielding forest products that faces the most problems as regards production and marketing, since exploitation has dropped by more than 50% from 1979 to the present owing to changes in soil use and to the strong pressure applied by importing countries, since the prices offered do not make its exploitation cost-effective.

The field exploitation systems authorized by the forestry authorities are of the traditional type and consist in making a zig-zag shaped cut in the trunk with a machete. The incision measures 2 or more cm wide by 1 cm deep below the cortex, and must not cover more than a fifth of the circumference of the trunk. The product is collected in a recipient called a "chivo" which is placed at the base of the incision.

For boiling, the latex collected is poured into copper pots called "pailas" which are placed directly onto the flame, and it is stirred frequently to prevent the resin adhering to the sides from burning; it is thus kept on the heat until it acquires a pasty consistency. It is then emptied out onto a bed of palm leaves or damp sacks and afterwards placed in molds to form "marquetas". These are packed in sacks and are then ready for sale.

These activities are a direct source of employment for around 6,000 chicleros, and it must be borne in mind that a further 31,000 people in tropical regions are to some extent economically dependent on this product.

Although the product is registering a downward trend, research projects have been carried out with the object of attaining optimum exploitation without endangering the resource. To that end, chicle-tapping techniques and systems for reproduction of the species are being tested, and studies on marketing, which is the biggest problem, are being made.

## STEROID HORMONES

Steroid hormones of vegetable origin have been a source of foreign exchange for Mexico, since they are export products that fetch reasonably high prices on international markets, and up to the 70's the country occupied first place as a world producer.

Diosgenine is obtained from the rhizomes of a series of wild species of the genus Dioscorea, which are tropical climbing plants with annual or perennial stems with heart-shaped alternating leaves and perennial, shallow rhizomes. The main species utilized are *Dioscorea composita* (barbasco), on which steroid production is based, and which is found in the tropical parts of the states of Veracruz, Tabasco, Chiapas, Puebla, Oaxaca (in the Gulf of Mexico basin), and is followed in importance by *Dioscorea floribunda* (yellow barbasco) which grows in the states of Veracruz, Oaxaca, Campeche, Yucatan, Chiapas and Guerrero. These two species contain between 4-8% diosgenine. Other species that contribute to steroid production are *D. spiculiflora* (white

barbasco) which is found in Campeche, Yucatan and Chiapas, and finally *Dioscorea gallegoci* (macal) which is found in subtropical parts of the states of Mexico, Michoacan and Guerrero. The latter two species contain lower levels of diosgenine than the former two.

The diosgenine extracted from the rhizomes of the barbasco is transformed into synthetic steroid hormones used by the pharmaceutical industry in the preparation of various medications without hormonal and physiological activity of different kinds, such as corticoid hormones which serve as anti-inflammatory agents in skin diseases and allergies, asthma and arthritis, female hormones for the manufacture of contraceptives, for menopause problems and sterility, and male hormones to treat prostate tumours.

The exploitation system basically consists in selecting the plant according to the thickness of the liana, in view of the latter's correlation to the weight of the rhizome. Subsequently, the bulb is dug up with a spade, lever or hoe, and once extracted it is cut up and placed in sacks for transportation to the mill, where it is ground, fermented and dried to obtain barbasco flour, which is the product used in industry for processing and extracting the active agent.

Some 20,000 compesinos in areas where barbasco is found depend economically on the primary activities, without counting permanent employees working at the mills.

In 1986 production of fresh barbasco rhizomes reached approximately 25,000 tons (equivalent to 5,000 tons of barbasco flour) with a field value of 1,750 million pesos (price: Bureau of Forestry Standards).

With the object of locating areas of distribution and exploitation and gathering information on the dynamics of barbasco production, INIFAP has carried out studies on the ecology of barbasco to establish its minimum and optimum needs in its areas of distribution, detect qualities, become cognizant of the problems connected with the resource and set guidelines for future research projects.

With the information obtained, a two-pronged research program was prepared. On the one hand, tests were carried out to discover reforestation techniques in natural areas and on the other, to implement a system for establishing commercial plantations.

In the first case, it was found and established as standard procedure that the rhizome harvester should leave a piece of bulb in the ground at a depth of about 10 cm from the surface so as to produce a new plant and conserve production areas.

With the research program on plantations it was possible to establish techniques for the harvesting, management and storage of seeds, systems for mass reproduction of plants in seed beds, handling of rhizomes for asexual reproduction, seasons and systems for transplanting, type and shape of supports, techniques for handling plantations and harvest; all this information has been made into a technological package that will be implemented by the Rural Development Districts in Tabasco and Oaxaca. Furthermore, so as not to lose the genetic pool, a germ plasm bank for dioscoreas was set up in two ecologically different areas.

## CONDIMENTS

Production of condiments in Mexico is based especially on the exploitation of two non-timber-yielding species, oregano and pepper. These products are mainly exported to the United States or Europe.

*Oregano*

Oregano production in Mexico is based on the exploitation of various vegetable species belonging to the botanical families of the Verbenaceae, Labiadae, Composites and Leguminosae, among the most important of which are *Lippia berlandieri, Lippia palmeri, Monarda austromontana, M. citriodora* and *Hedeoma* spp. They are shrubs with a height of 0.50 to 1.50 m. with perennial leaves, and they constitute dense, regular populations in low deciduous forests and desert brush-wood. So far, the actual surface they cover in the various regions of Mexico has not been quantified. They are distributed in the states of Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, Jalisco, Baja California Sur, Tamaulipas, Querétaro, Nuevo Leon, San Luis Potosi and Hidalgo.

In addition to its use as a condiment, oregano is also used in medicine in the preparation of pharmaceutical products such as stomach antispasmodics, diaphoretics and expectorants, and its essential oils are used in the manufacture of cosmetics and other pharmaceutical products.

The method used for oregano exploitation in the various regions where it is produced is essentially the same; it begins with selection of the shrubs by the harvester, who cuts off the branches with the most leaves and flowers with a variety of tools or by hand to different extents ranging from 25-100%, and the remaining trunks sprout new growth every year.

The harvest season is once a year, and generally coincides with the summer rains (June to September). However, because of the geographical position of some of the country's producing regions, the harvest coincides with the winter rains, as is the case in Tamaulipas.

In the first stage of processing the oregano is dried and tied into bundles which are later transported to the harvester's house where it is beaten to separate the dry leaves from the stems, and the product is packed in sacks or bales for transport to the processing mill where it is processed by machine in various stages: cleaning, selection, grinding and packaging.

The production and marketing of oregano varies, depending on supply and demand in international and domestic markets, and is registering an upward trend, especially since 1986, due to the accident at Chernobyl. Because production in the affected areas has been banned, Mexico will supply the shortfall in oregano on the European market for at least the next 5 years.

In 1986 a total of 3,208 tons of oregano was produced, and 90% of production was exported to the United States, which purchased it at $0.63 dollars per pound (Bureau of Forestry Standards).

Since oregano is a resource that has been considerably affected by the impact of cattle, particularly goats, a number of institutions dedicated to research are carrying out studies on oregano. Such is the case of CIATEC in Guadalajara, Jalisco, which is conducting research into the establishment of a pilot plant for the extraction of essential oils, and of INIFAP, which has been making systematic studies of the ecology of the species in its experimental fields in arid regions and has developed techniques for inventory, selection of cutting intensities in natural

conditions, systems of mass reproduction, techniques for establishing commercial plantations and has made marketing studies.

*Pepper*

*Pimienta dioica* L. is one of the few non-timber-yielding forest resources that are cultivated in Mexico, albeit in an empirical manner.

It is a medium-sized tree reaching heights between 15 and 20 m, with an erect, lightly ridged trunk; the cortex is smooth with very thin scales, the flowers are irregular, structurally hermaphroditic but functionally dioecious, and the fruit is a flat berry measuring between 10-15 mm.

It grows in warm, humid and subhumid climates and in average temperatures of 26.3°C and precipitation of around 2,500 mm. It prefers soils of the lateritic and alluvial types and to a lesser extent, gley soils.

Ecologically the pepper tree (*Pimienta gorda*) is distributed in the Gulf of Mexico basin, from the northern parts of Puebla and Veracruz to the south of the Yucatan Peninsula, including the states of Tabasco, Campeche and Quintana Roo.

In addition to its use as a condiment for foods, it is also used in industry in countries which import it; for example, in France its essential oils are used for perfume concentrates, in Spain for seasoning cold meats and in Japan for flavoring coffee and tea.

Cultivation of pepper is conducted under different management systems; in some cases cultivation is pure, where sowing distances of 12 x 12 m are used, and its management basically consists of pruning to eliminate excessive foliage and fertilization; it does not require weed control as the foliage does not permit their growth: pepper begins its production in an incipient way at 6 years, and reaches full production after 20 years, up to 100 or 150 years approximately, with production of 20 to 50 kg of green fruit per tree per annum.

In harvesting, as the fruit grows at the extremities of the branches, the harvester cuts back the branches to harvest the berries, which reduces production for the following year. Subsequently the fruit is separated from the berry and is dried in the sun for 5 days with 7 h of sun and once dry, it is stored. Three kg of green seed yield 1 kg of dried seed.

Since pepper is a wild species taken from the forest and has broad adaptability, it can also be found in association with other crops such as coconut and cacao, and also in family orchards as live enclosures or as shade trees. It is in these systems that pepper is found in the greatest quantities.

Mexico currently occupies second place in world pepper production and produces about 3,000 tons a year, 90% of which is exported to Canada, the United States, Britain, Germany, Russia, Japan, Hungary, Holland, Argentina, Colombia and Czechoslovakia, among other countries.

In order to improve cultivation, INIFAP made a diagnostic study of its problems in the state of Tabasco, which accounts for 70% of national production, and the following problems were found: producers are unable to distinguish between female plants and male ones, which makes cultivation risky if there is a high proportion of male plants; no system exists regarding pepper

distribution in associated plantations, and problems have been detected as regards competition between cacao and coconut with pepper, resulting in low production; no specialized tools for harvesting exist, and the system of cutting productive branches persists, to the detriment of production; finally, the genetic material is very varied and of a low quality.

On the basis of this information, a program has been drawn up to improve existing plantations and to establish new techniques for present and future plantations, with greater emphasis on genetic aspects and those of harvesting systems.

## OTHER PRODUCTS

Another series of non-timber-yielding forest products exists which is the object of exploitation and is economically and socially important for rural inhabitants.

A case in point is the Xiat of "tepejilote", which is made up of various species of the genus *Chamaedorea* whose foliage is exploited as ornamental and provides a direct income to the harvester. This resource is utilized in the tall tropical forests of the states of Chiapas, Yucatan, Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Ooxaca and San Luis Potosi at altitudes ranging from 700 to 2,500 m. Production stands at about 1,200 tons and it is exported to European markets and the United States.

Sotol, which is made up of different species of the genus *Dasylirion*, is used in the manufacture of alcoholic drinks, and in some cases it is also used as a forage. This plant is broadly distributed in the arid areas of the states of Coahuila, Durango, Zacatecas and San Luis Potosi, and is associated with different types of vegetation. Similar use is made of Damiana *Turnera diffusa*, which has been exploited in the Baja California Peninsula and Sonora for various decades, and is also used in the pharmaceutical industry in the preparation of medication to cure gastric illnesses.

For extracting aloin, a product that is widely used in the pharmaceutical and cosmetics industry, *Aloe vera* is utilized. It is a species found in arid areas which has recently had great demand on the international market and has become a new source of income for campesinos.

As a source of food and/or forage, a series of plants with multiple uses are utilized, the most important of them being: Mezquite (*Prosopis* spp.) which is broadly distributed in arid zones and is used as food for humans, forage for goats and as a source of resin and a fixer of nitrogen in the soil; the Nopal (prickly pear), made up of various species of the genus *Opuntia* whose fruit is an export product as such or made into cheeses and jams. Its sprouts or cladodes are used as human food and the fleshy leaves as forage; finally there are a few halophytes that serve as a source of forage in the difficult season of the year, as is the case with Saladillo *Atriplex* spp.

Research programs are being carried out on all these species which are aimed at achieving optimum production without diminishing the resource.

## PROSPECTS

In order to succeed in exploiting a larger number of non-timber-yielding forest species that could become new sources of employment for the inhabitants of Mexico's rural areas, cata-

logues are being distributed on useful plants for commercial purposes, in which information can be found on uses, habitat, distribution, exploitation systems and in some cases on the active agents that form the basis of their commercialization. Apart from seeking to broaden the market for these plants, the aim is to establish the best systems for their exploitation through research, without endangering the species.

Given that those who harvest non-timber-yielding forest resources also dedicate themselves to agricultural and cattle-raising activities, INIFAP has designed and is testing integral production systems for arid zones, whereby a surface of around 20 ha is used for agricultural crops such as corn, beans, sorghum and wheat; forage plantations based on halophytic species such as *Atriplex* and *Kochia, Zacate Buffel* and forest plantations of Lechuguilla, Candelilla, Oregano, Prickly pear and Maguey, in an effort to achieve optimum soil use and above all, to ensure that the compesino has a permanent income throughout the year.

Finally, research on traditional non-timber-yielding species is planned to continue both as regards exploitation and conservation in natural environments, and in the extraction and refining stages, so as to achieve a greater added value of the product.

## CONCLUSIONS

- Non-timber-yielding forest products are of major social importance, since in their areas of distribution their exploitation represents the main source of income for people in rural areas.

- Non-timber-yielding forest resources currently represent a source of considerable foreign currency for the country, despite the fact that most of them are exported as raw materials.

- Research on non-timber-yielding forest products should be aimed at detecting species with current or potential uses that can be exploited, thus broadening the range of non-timber-yielding products with a share of international and domestic markets.

- There is an urgent need to carry out research to allow the active agents to be obtained and to implement suitable technology for subsequent industrialization of the resources, which will increase the added value of non-timber-yielding products, resulting in greater economic benefit both for the country and for producers.

- There are a few non-timber-yielding forest products that use technology to assist exploitation, and there is therefore a need to broaden research on management and conservation of the resources in their natural states, as well as on implementing cultivation techniques where the socioeconomic importance of the species warrants it.

## RÉSUMÉ EXÉCUTIF

*Il est question, en particulier, des espèces forestières non sciables qui sont indigènes au Mexique et dont on tire des produits marchands. Ces espèces comprennent des plantes qui donnent : des fibres résistantes* - Agave lechuguilla *ou* Agave heteracantha *(chanvre de Tampico) et* palmilla (Yucca filamentosa) - *; des cires* - *candelilla des euphorbes* E. cerifera *et* E. antisyphilitica, *jojoba* - *; des résines et du latex* - *caoutchouc du guayule* (Parthenum argentatum), *résine de pin et chicle du sapotillier* - *; des hormones stéroïdes; des condiments* - *origan et piment* - *et d'autres produits. Dans chaque cas, la description comporte les caractéristiques de la plante et de son habitat, des considérations sur le système d'exploitation et ses caractéristiques, ainsi qu'un commentaire sur l'utilité du produit fourni par la plante. L'article se termine par une étude prospective et des conclusions.*

## INTRODUCTION

Les produits forestiers non ligneux du Mexique tirent leur origine d'une série d'espèces végétales dont la plupart sont utilisées à état naturel dans les différents écosystèmes du pays.

Bien que les produits non ligneux ne représentent que 5 p. cent de la production forestière globale, ils sont considérés comme une source importante d'emplois pour un grand nombre d'habitants des régions où croissent ces plantes, et dans certains cas cette activité constitue leur seule source d'emploi.

La production globale des ressources non ligneuses varie énormément parce qu'il s'agit en général de produits destinés à l'exportation, et que la demande de ces produits dépend en grande partie des fluctuations de prix sur le marché mondial.

En raison de la grande variété de la flore attribuable à la situation du pays entre les zones tempérées du nord et les régions tropicales et du fait que, aux termes de la Loi forestière, la forêt "se compose de formes végétales comme les plantes arborescentes et arbustives, l'herbe, les ronces, les graminées qui croissent spontanément et continuellement", le nombre et le type de produits non ligneux sont d'une diversité considérable. C'est pourquoi la présente étude porte uniquement sur les produits ayant une grande importance économique et sociale comme les fibres, les cires, les résines, les stéroides, les condiments et les aliments.

## FIBRES TEXTILES

*Ixtle*

L'ixtle ou chanvre de Tampico est un produit non ligneux que l'on obtient en coupant *Agave lechuguilla* et *Yucca carnerosana*, deux espèces largement répandues dans le désert de Chihuahua.

Étant donné la forte concurrence que les fibres synthétiques livrent à l'ixtle, l'utilisation et la commercialisation de celle-ci ont subi de fortes fluctuations, notamment sur le marché de l'exportation.

On obtient l'ixtle de *l'Agave lechuguilla* (famille des Amaryllidacées) en coupant le coeur de la plante, qui a l'apparence d'une rosette et dont les feuilles charnues vert foncé, d'une longueur de 20 à 25 cm, poussent à partir du col de la racine, étant donné que la plante n'a pas de tige. Les jeunes feuilles forment un tout homogène, les plus tendres étant recouvertes de couches de feuilles; c'est la portion utilisable pour l'extraction de la fibre ou ixtle, qu'on appelle le "coeur".

Le milieu idéal de cette plante se situe dans les montagnes aux sols calcaires et sur des terrains plats bien drainés, c'est-à-dire des sols rocailleux où de 120 à 200 mm de précipitations par année sont répartis inégalement et où la température moyenne varie entre 18 et 22°C, et qui résistent bien au gel.

Cette plante est distribuée de façon inégale sur une superficie de 70 000 $km^2$ dans les états de Coahuila, Nuevo Leon, San Luis Potosi, Tamaulipas et Zacatecas, avec une densité variable par hectare.

L'ixtle de palmier provient de *Yucca carnerosans* une plante caulescentre, symétrique et généralement simple qui, dans certains cas, forme des bouquets denses de troncs de tailles différentes rejoignant à la base. La hauteur des troncs varie entre 1, 5 et 6 m et peut atteindre parfois 10 m. Le tronc se termine par une rosette de feuilles sessiles d'un vert bleuâtré et mesurant de 50 à 100 cm de long. Au centre, le coeur est formé d'un groupe de feuilles tendres d'où la fibre est extraite.

Ce palmier qui croût généralement à des altitudes de 1 000 à 1 800 m, de préférence sur des pentes de roche calcaire, se répartit également parmi les autres arbustes rabougris à forme de rosette.

Il pousse dans les sols alluviaux d'origine calcaire et dans certaines vallées avec des affleurements de gypse, où la précipitaton varie de 296 à 600 mm par an et où la température moyenne annuelle est de 23°C. On le trouve dans le états de Coahuila, San Luis Potosi, Zacatecas, Durango et Nuevo Leon.

Les utilisations et applications de l'ixtle sont diverses, les plus importantes étant la production d'articles d'usage général comme des brosses à polir le métal, des pinceaux et des brosses à usage domestique; l'ixtle est aussi employé pour la fabrication de fils, de cordes de toutes sortes, de sous-tapis, de sacs à céréales et d'enveloppes pour les balles de coton.

En général, la méthode pour extraire l'ixtle *d'Agave lechuguilla* et de *Yucca carnerosana* consiste d'abord à récolter le produit dans le champ, travail exécuté par un cueilleur appelé "ixtlero" à l'aide d'une perche se terminant par un anneau d'acier. Les coeurs cassés au moyen de l'anneau sont mis dans des sacs qui seront transportés à l'usine de transformation en paquets de 70 à 80 kg.

L'extraction de la fibre se pratique de façon différente pour *Yucca carnerosana* et pour *Agave lechuguilla*. Dans le premier cas, les coeurs sont mis à bouillir pendant cinq à huit heures avant d'être raclés. Ce processus n'est pas nécessaire dans le cas *d'Agave lechuguilla*.

Selon la méthode traditionnelle de coupe, on enlève avec un couteau la pulpe du coeur puis on expose la fibre au soleil pour la faire sécher. Cependant, en 1980, la Société Forestal

F.C.L.* a introduit une machine à couper électrique qui améliore la production: auparavant, *l'ixtlero* cueillait les coeurs le premier jour pour les couper le lendemain, tandis que la machine permet d'exécuter ces deux opérations en une seule journée.

En 1986, 6 669 tonnes d'ixtle *d'Agave lechuguilla* et 4 462 tonnes d'ixtle de *Yucca carnerosana* ont été produites, ce qui représente une valeur totale de 1 897 millions de pesos (données de Forestal F.C.L.)

À l'heure actuelle, le gagne-pain de 50 000 familles dépend de la récolte et de la coupe *d'Agave lechuguilla* et de *Yucca carnerosasa* dans les zones arides du Mexique, étant donné que le climat ne convient à aucune activité agricole stable.

La disparition progressive de ces deux espèces tout au moins dans les régions à proximité des terrains communaux où on les exploite force les paysans à couvrir des distances allant jusqu'à 50 km pour produire de 5 à 6 kg de fibre par jour. C'est pourquoi le Secrétariat de l'agriculture et des ressources hydrauliques (SARH), par l'entremise de l'Institut national des recherches forestières et agricoles (INIFAP), a entrepris de sélectionner et d'établir des techniques visant à remettre en état les régions surexploitées.

Dans ce but, on a effectué une étude sur les méthodes de récolte traditionnelles pour déterminer quels aspects des techniques d'exploitation pourraient être améliorés et pour examiner d'autres solutions.

Les progrés de la recherche ont permis de mettre au point des techniques pour utiliser de jeunes pousses de plantes adultes et améliorer les méthodes de transport et de manutention. Grâce à ces résultats, la Forestal F.C.L. et les responsables des programmes forestiers du SARH ont mis en oeuvre des programmes de reboisement dans certaines régions autrefois très productives. Grâce à la rusticité des plantes, à leurs faibles besoins en eau et à leur grande adaptabilité, on a pu mettre au point des techniques pour effectuer des plantations forestières à faible coût, où la sélection de certains écotypes a produit des plantes avec un cycle de deux ans au lieu de quatre ou cinq dans les conditions naturelles.

L'INIFAP et l'Institut du pétrole sont en train d'effectuer des études conjointes pour parvenir à exploiter pleinement *Agave lechuguilla*, en extrayant de la saponine du déchet appelé *quichi*, qui à l'heure actuelle n'a pas d'utilisation définie.

*Fibre de palmilla*

Cette fibre provient de la "palmilla" ou "herbia del oso" (heure d'ours), noms communs utilisés indistinctement pour désigner deux espèces du genre Nolina de la famille des Liliacées. Il s'agit de plantes vivaces avec tiges souterraines et de nombreuses feuilles disposées, en bouquets et mesurant 12 mm de large et environ 2 m de long, qui leur donnent un aspect très touffu.

La plante croût dans les plaines, sur des groupes de collines peu élevées et plates et sur des pentes faibles à une altitude d'environ 900 à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer, dans des sols rocailleux d'origine volcanique très peu profonds, à des températures et sous des

* Société avec du capital du gouvernement et de l'entreprise commune chargés de l'industrialisation et de la commercialisation de l'ixtle.

précipitations annuelles moyennes de 18 à 22°C et de 400 à 600 mm respectivement. Elle est présente dans des prés semi-ouverts, en groupes d'arbustes à rameaux étroits comme des lames, dépourvus d'épines dans le bas, principalement dans les états de Sonora, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, San Luis Potosi, Zacatecas et Nuevo Leon.

La fibre de palmilla constitue le principal élément des rouleaux et des disques des balayeuses mécaniques de rue, et elle a de vastes débouchés aux états-Unis notamment. Elle sert également à la fabrication de balais, de brosses, de vadrouilles, de noyaux d'explosifs et de certaines piéces d'artisanat.

L'exploitation de cette plante débute sur le terrain où ses feuilles sont coupées à la faucille à une hauteur d'environ 10 cm à partir de la base avant d'être mises en paquets d'à peu près 30 kg. Ceux-ci sont ensuite amenés au bord de la route par des bêtes de somme puis transportés par camions à l'usine de transformation désingée sous le nom de *palmillera*. Là, selon l'usage auquel elles sont destinées, les feuilles sont coupées à des longeurs différentes. Pour les machines à balayer la rue, elles sont coupées à une longueur de 45 pouces, emballées et expédiées aux états-Unis; pour la fabrication de brosses, de balais, de badruilles et de noyaux d'explosifs, elles sont coupées à 16 pouces de la base, ce qui donne une matière de première qualité, plus dure et moins fragile, tandis que la seconde coupe est faite à 16 pouces et fournit une matière de seconde qualité. Une fois coupées, ces feuilles passent dans une déchiqueteuse et la fibre ainsi obtenue est mise à sécher pendant 24 heures, mise en balles de 70 kg puis expédiée elle aussi aux états-Unis.

La production annuelle, qui varie considérablement, peut aller de 8 000 à 1 900 tonnes, étant donné que le marché dépend en grande partie de la demande internationale. En 1986, la production s'est élevée à 2 200 tonnes d'une valeur de 50 000 pesos la tonne (Bureau des normes forestières).

Pour ce qui est de l'emploi engendré par ce type d'activité, on estimé a 1 500 le nombre de personnes dans le nord-est du pays, notamment dans l'état de Sonora, se consacrent à ce travail.

D'après une étude diagnostique effectuée par l'INIFAP, un paysan peut produire entre 400 et 600 kg de feuilles de palmilla, selon la densité par hectare et le trajet à parcourir, avec des cycles de 2 à 3 ans selon la région.

Étant donné que cette ressource n'a guère été étudiée jusqu'ici et que ses caractéristiques dans des conditions différentes et sa gestion adéquate demeurent largement inconnues, des études sont présentement en cours sur l'écologie de cette espèce. Elles permettront de découvrir l'interrelation entre son milieu et sa phénologie, données qui, avec l'information dont nous disposons déjà sur le système de gestion traditionnel, favoriseront la mise en oeuvre d'un programme de recherche pour gérer et conserver cette ressource.

## CIRES

*Cire de candelilla*

Cette cire est le produit d'une plante des régions désertiques du Mexique connue communément sous le nom de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), native du désert de Chihuahua au Mexique et de la région sud-est des états-Unis.

Au Mexique, elle pousse dans les états de Coahuila, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Nuevo Leon, Tamaulipas et San Luis Potosi, dans des sols calcaires d'origine colluviale peu profonds (moins de 25 cm) et à texture sableuse, où les pluies annuelles moyennes se situent entre 120 et 200 mm. Cette plante distribuée de façon inégale pousse à des températures annuelles moyennes de 18 à 22°C et peut même résister à une température maximale de 47°C.

Le candelilla constitue une partie de la végétation appelée arbustes à rameaux étroits comme des lames et est associé à *Agave lechuguilla, Hechtia glomerata, Dasylirion berlandieri* et *Agave striata.*

Grâce à ses propriétés psysicochimiques, la cire tirée de cette plante entre dans la fabrication d'une multitude de produits dont les plus importants sont le chewing-gum, les enduits à bonbons, les polis ou les vernis, l'enduit à papier d'emballage, les emballages sanitaires et les peintures; mélangée au caoutchouc elle sert aussi à la fabrication d'appareils électriques.

Sa méthode d'exploitation comporte essentiellement deux phases: récolte de la plante et extraction de la cire dans les centres de transformation, et raffinage de la cire. La récolte du candelilla se pratique par l'arrachage de la plante par saisie de la racine; on la secoue ensuite pour en éliminer la terre. À l'heure actuelle, le cueilleur doit s'arranger pour transporter sa récolte soit avec une bête de somme ou un véhicule moteur sur une distance de 35 km, cette plante étant desparue des régions proches des centres de transformation.

C'est dans ces centres qu'on procéde à la première extraction de la cire, pour laquelle on utilise des récipients spéciaux appelés *paila* dans lesquels se trouve de l'eau acidifiée et qui sont chauffés avec de l'herbe de candelilla comme combustible. Lorsque l'eau bout, on verse dans le récipient de 240 à 260 kg de candelilla pressé et d'acide sulfurique dans une proportion de 8 p. cent du poids de plante. La cire qui commence à se dissoudre est recueillie avec une petite cuillère trouée nommée écumoir. On fait bouillir le produit encore une fois pour que les impuretés se déposent et que la cire flotte; c'est cette dernière qui est vendue par les récolteurs.

On procéde au raffinage par fusion de la cire dans des récipients appropriés, en ajoutant encore cette fois de l'acide sulfurique et en éliminant les impuretés par décantation. La cire est ensuite transvasée dans des bassins de décantation où elle se solidifie avant d'être coupée manuellement en petits morceaux. Le produit ainsi obtenu est ensuite vendu sur le marché.

L'activité d'environ 260 terrains communaux et 9 500 paysans des zones arides dans les états de Coahuila, Chihuahua, Durango et Zacatecas dépend de l'exploitation du candelilla, qui représente pour eux un revenu de 960 millions de pesos, soit une production annuelle de plus de 3 000 tonnes de cire. Cela signifie qu'environ 150 000 tonnes de la plante de candelilla sont détruites chaque année.

La technique utilisée pour cette exploitation n'ayant pas changé depuis des années, entraînant pour ainsi dire la disparition de la ressource dans certaines régions très productives, le gouvernement mexicain, par l'entremise du Secrétariat de l'agriculture et des ressources en eau, a intensifié récemment la recherche pour trouver des méthodes d'exploitation et d'extraction plus efficaces dans le but d'optimiser la quantité et la qualité de la cire de candelilla.

La recherche initiale avait pour but de découvrir la méthode qui permettrait le mieux de récolter la plante tout en lui laissant la chance de bien repousser. On aurait ainsi la possibilité de l'utiliser de façon continue. L'arrachage, en effet, annule tout espoir de repousse, mais la recherche montre que l'élagage de la plante à 50 p. cent est le meilleur moyen de lui permettre de récupérer. D'après les expériences, la période qui convient le mieux à la récolte se situe en avril, et la production pourrait grimper à 8,3 p. cent avec la méthode

d'extraction traditionnelle à la *paila*, tandis que pendant les autres mois, elle est normalement de 2 à 4 p. cent.

Pour la remise en état des régions surexploitées soit par le reboisement ou l'établissement de plantations, on a constaté, d'après les recherches effectuées sur les modes de reprodution, que la méthode asexuée était la meilleure; ainsi, en plantant un rhizome avec 5 bourgeons, une nouvelle plante pouvait pousser.

Une fois découvent un système de reproduction de masse, des essais effectués sur la plantation pendant la saison des pluies ont montré que des distances de 50 cm entre les plantes et de 1 m entre les rangs convenaient le mieux.

Des études génétiques sont également réalisées, d'abord sur la sélection d'écotypes et de variétés pour déterminer ceux ou celles qui présentent les caractéristiques idéales d'adaptabilité et de rendement. Il y a aussi des études faites dans le but d'élargir l'éventail des utilisations de la cire de candelilla. La Commission des zones arides et l'Université nationale autonome de Mexico ont réussi à préparer une émulsion à base de condelilla que l'on a utilisée avec succès dans la conservation entre autres des limettes, des mangues, des avocats et des figues de Barbarie.

L'Institut du pétrole, de concert avec le Secrétariat de l'agriculture et des ressources en eau, fait à l'heure actuelle des essais pour extraire la cire de candelilla au moyen de solvants organiques récupérables. Grâce à cette technique, on pourrait non seulement obtenir une cire plus pure mais aussi augmenter l'extraction de 10 p. cent par rapport à la méthode traditionnelle, sans parler de l'augmentation du revenu des récolteurs et de la présence sur les marchés internationaux d'un produit plus concurrentiel.

*Cire de jojoba*

La cire de jojoba est un produit non ligneux qui provient des graines d'une plante forestière du même nom (*Simmondsia chinensis*). C'est un arbuste vert de la famille des Buxacées qui à l'état sauvage atteint de 60 à 90 cm et même, dans certains cas, jusqu'à 5 m, dont les feuilles oblonges sont opposées et de consistance coriace. Bien que quelques spécimens monoiques aient été décelés, cette plante est généralement dioique et ses graines de couleur brun foncé ressemblent à un noix et sont riches en huile. Il faut compter 2 ans avant la première floraison et de 4 à 5 ans avant l'exploitation.

Elle pousse en grande partie dans le désert de Sonora qui couvre la partie sud-est de l'Arizona et de la Californie aux états-Unis et dans les états de Sonora, Baja California et Baja California Sud au Mexique.

Cette plante, associée à des espèces succulentes de terres arbustives et à un degré moindre à des halophytes, pousse à des altitudes inférieures à 260 m dans des sols sableux et argilo-sableux bien drainés, qui reçoivent une précipitation annuelle moyenne de 182, 1 mm, avec une précipitation maximale d'août à septembre et pendant les pluies hivernales, à une température moyenne de 23, 1°C, and gels.

La cire sert à différents usages: lubrifiant pour les machines grâce à sa résistance aux températures élevées, fabrication de cosmétiques (huiles, shampooings et savons), produits pharmaceutiques comme support de préparations médicinales, poli à meubles et à automobiles, fabrication de bougies parce qu'en brûlant elle ne dégage qu'une faible quantité de fumée, et produit de protection contre la déshydratation des fruits.

À l'heure actuelle, la production des graines provient en grande partie de la plante à l'état sauvage. Celles-ci sont placées dans des sacs d'ixtle ou de canevas après avoir été cueillies à la main. Il y a jusqu'à trois récoltes par année, car le jojoba mûrit à différentes périodes.

La production actuelle de graines de jojoba se situe autour de 750 à 800 tonnes par année, d'une valeur de l'ordre de 720 millions de pesos (prix du Bureau des normes forestières), d'où l'on extrait 387 tonnes de cire liquide principalement exportée vers les marchés des États-Unis et de l'Europe. Environ 10 000 familles paysannes des états de Sonora, Baja California et Baja California Sud vivent de l'exploitation de cette plante à l'état sauvage.

La Commission des zones arides exploite une usine d'extraction de la cire de jojoba à Ensenada (Baja California), qui traite la graine pour les cueilleurs et aide en même temps à la commercialisation de la cire sur les marchés internationaux. Dans les autres cas, le cueilleur extrait la cire à l'aide d'un pressoir comme pour l'extraction de l'huile d'olive.

La multiplicité des produits dérivés de la cire liquide fait du jojoba une espèce végétale d'un intérêt économique de premier plan, notamment à cause de son application aux lubrifiants.

Étant donné que, tout au moins pour l'avenir immédiat, l'offre de cire liquide extraite de la plante à l'état sauvage sera nettement inférieure à la demande escomptée, et à cause des désavantages créés par les fluctuations considérables de la production au Mexique, l'Institut national de recherches forestières et agricoles (INIFAP) a entrepris un vaste programme de recherche comprenant une étude du jojoba à l'état sauvage et des programmes expérimentaux visant á domestiquer et á cultiver cette plante.

Pour mieux connaître les conditions environnementales dans lesquelles pousse la plante dans son aire naturelle de distribution, on a effectué des études écologiques dans la péninsule de la Baja California qui, de concert avec les recherches effectuées par l'université de Sonora, ont permis de couvrir avec succès l'aire de distribution entière de cette espèce. Grâce à ces études, on a pu recueillir des informations sur les conditions minimales et optimales dans lesquelles pousse la plante, et repérer les régions produisant des graines d'excellente qualité, qui pourront fournir du matériel de reproduction au cours d'études ultérieures.

La plante de jojoba ayant eu à subir dans certaines régions les méfaits du gros et du petit bétail et des animaux sauvages qui se nourrissent de ses feuilles en guise de fourrage, on a délimité des aires d'exclusion afin d'étudier l'évolution naturelle de la plante en milieu protégé, et aussi d'enrichir le peuplement par le reboisement, ou de vérifier des techniques permettant une plus grande utilisation de l'eau de ruissellement par des sillons de contour, des micro-bassins de drainage de type fer à cheval, fosse et rigole latérale.

En matière de domestication, des techniques ont été découvertes pour la reproduction massive de l'espèce, la gestion de pépinières, la préparation du sol, la densité de la culture, les systèmes phytosanitaires, ainsi que la gestion de la fertilisation et de la plantation. Ces

techniques ont permis la mise sur pied de plantations semi-commerciales permettant d'obtenir de l'information sur les aspects économiques de la culture et de compléter les programmes technologiques.

## PLANTES PRODUCTRICES DE RÉSINE ET DE LATEX

*Caoutchouc de guayule*

Même si dans le passé le guayule a été en forte demande pour son caoutchouc, cette plante a perdu sa part du marché à cause de la grande quantité de résine contenue dans son latex et des difficultés que pose son élimination. Cependant, avec les récents progrés de la technologie, il est maintenant possible de produire un caoutchouc de qualité comparable à celui du hévéa; ce caoutchouc peut faire concurrence à ce dernier mais d'abord et avant tout il est en mesure de réduire la pénurie de caoutchouc qui frappe l'industrie à l'heure actuelle.

Un projet gouvernemental dirigé par la Commission des zones arides a été mis en route pour établir une usine de transformation d'une capacité de 25 000 tonnes de guayule sauvage.

Le guayule (*Parthenium argentatum*) est un arbrisseau de couleur grise de la famille des Composées pouvant atteindre un mètre de haut. Les branches nouvelles sont argentées, ce qui explique le nom de l'espèce, argentatum. Cette plante contient de 10 à 15 p. cent de caoutchouc, de 7 à 8 p. cent de résines, de 30 à 40 p. cent de cellulose et de 20 à 30 p. cent d'humidité. En plus de produire du caoutchouc, elle peut aussi servir d'adhésif dans la production de vernis et de peintures.

On trouve le guayule à des altitudes variant de 600 à 1 800 m au-dessus du niveau de la mer dans des sols argileux, où la précipitation annuelle se situe entre 140 et 250 mm et les températures, entre -14°C et 44°C.

Son aire de distribution couvre les états de Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosi, Nuevo Leon, Chihuahua, Durango, Tamaulipas et Querétaro.

Voulant être prêt au cas où le guayule serait de nouveau utilisé, le Mexique a entrepris des projects de recherche ayant donné les résultats suivants:

Une étude des espèces a été effectuée dans les états de Coahuila, San Luis Potosi, Nuevo Leon, Chihuahua et Durango.

L'INIFAP et l'université Antonio Narro ont recueilli des écotypes dans l'aire de distribution. De plus, l'université procéde à des études sur la gestion des différents écotypes prélevés.

Une étude sur la saison de coupe intense de la plante à l'état sauvage a permis à l'INIFAP de constater qu'une récupération de 60 p. cent après les coupes était obtenue en trois ans.

*Resine de pin*

L'importance de la résine au Mexique réside non seulement dans l'aspect production mais fondamentalement dans l'aspect socio-économique. En effet, à cause des longues saisons interdites

à l'exploitation du bois, la résine constituait la seule ressource forestière que l'on pouvait tirer des vastes régions couvertes de pins et l'une des rares sources d'emploi sur les terrains communaux.

Au Mexique, on extrait la résine de diverses espèces de pins sont les principales sont *Pinus douglasiana, P. leiophylla, P. oocarpa, P. montezumae, P. lawsoni* et *P. michoacana* entre autres, et dont l'exploitation commerciale est concentrée par ordre d'importance dans les états de Michoacan, Jalisco et Mexico, avec une production à plus petite échelle dans les états de Durango, Nuevo Leon et Puebla.

La résine est largement utilisée dans la fabrication de cires, de peintures, de savons, d'adhésifs et de certains produits pharmaceutiques.

L'extraction de la résine dans les forêts de pins du Mexique à des fins commerciales existe depuis plus de 50 ans. Différentes méthodes comme la méthode "Cajete", la méthode Crott et la méthode en arête de poisson au germano-américaine ont été employées, mais les dommages qu'elles causaient aux arbres étaient tels que le Service des forêts les a interdites, et en 1937, a ordonné l'utilisation exclusive de la méthode French ou Hugues, mesure qui n'a été entièrement appliquée qu'à partir de 1959.

D'après Mas Porras (1981), les étapes de ce procédé sont les suivantes: l'écorçage, c'est-à-dire l'enlévement de l'écorce avec une hache plate le long d'une bande légèrement plus large que la partie d'où l'on doit extraire la cire pour l'année; l'ouverture de la face, opération qui consite à pratiquer une incision transversale dans la partie inférieure de l'arbre à une hauteur permettant de placer le récipient dans lequel la résine doit s'écouler; la face ainsi ouverte mesure 10 cm à l'horizontale, 3 cm à la verticale et 15 cm de profondeur; cette incision est exécutée avec une hache plate ou incurvée; une fois que la face a été incisée, on y introduit dans la partie inférieure un tube ou tuyau du nom de *visera* mesurant 12 cm par année et par lequel passe la résine avant de tomber dans le récipient; l'incision *pica*, soit une incision ascendante de 1,5 cm de profondeur; cette incision est effectuée tous les cinq jours pendant la saison des pluies et tous les huit jours pendant le reste de l'année; la cueillette, après 2 à 4 incisions *pica*, les récipients sont enlevés puis transvasés dans des bidons qui seront transportés aux installations de concentration.

La production annuelle de résine est de l'ordre de 43 000 tonnes, d'une valeur de 13 760 millions de pesos (prix du Bureau des normes forestières). Selon les estimations, près de 2 400 familles tirent leur moyen de subsistance de la résine.

La main-d'oeuvre qui participe à l'extraction de la résine demeure bon marché au Mexique, comparativement à d'autres pays producteurs, ce qui s'avère une situation favorable sur le plan commercial. Toutefois, il convient de noter que les prix sont dictés par le marché international, et que la tendance est de réduire la production de résine dans les pays producteurs où les coûts de la main-d'oeuvre ne permettent pas à cette industrie d'être rentable.

Pour améliorer et optimiser les méthodes d'extraction de la résine au Mexique, Avila Hernandez a réalisé en 1950 ses premières expériences sur la stimulation de cette opération en testant différentes concentrations d'acide sulfurique, appliqué à des taux variables sur les faces traitées, selon la méthode Hughes. Cette recherche a été poursuivie par la Barranca de Cupatitzio, au Michoacan, sector expérimental de l'INIFAP, et a donné les résultats suivants: *Pinus michoacana* var. *cornuta*, à rendement faible, a connu une augmentation de production de 40 p.

cent lorsqu'il a été stimulé par l'acide sulfurique: les pins à faible rendement traités par des moyens mécaniques, qui nuisent à l'aubier, sont plus sensibles à l'action des stimulants; les espèces Pinuis oocarpa *et P. leiophylla*, producteurs de résine par excellence, ont vu augmenter leur rendement de 15 à 25 p. cent.

Dans le cadre du programme de recherche sur les résines, la méthode américaine d'extraction au moyen de stimulants connue également sous le nom de méthode *Pica de Corteza* a été mise à l'essai. On a constaté qu'en utilisant une solution d'acide sulfurique à 60 p. cent dans les forêts où prédominent *Pinus douglasiana* et d'autres espèces comme *Pinus michoacana, P. herrerai, P. pseudostrobus* et *P. lawsoni* qui normalement ne sont pas de bons producteurs de résine, il était possible d'augmenter le rendement en pratiquant les *picas* tous les 12 jours. Toutefois, ces renseignements doivent d'abord être vérifiés à un autre niveau et faire l'objet d'une étude économique.

*Chiclé*

Le chiclé provient du latex produit par le tronc d'un arbre connu sous le nom de sapotillier ou sapotier (*Manilkara zapota* L.).

Le sapotier est un arbre qui mesure jusqu'à 40 m de hauteur et 125 cm de diamètre avec une écorce striée, de couleur sombre, des feuilles pétiolées et un fruit ovale comestible de plus de 6 cm de diamètre.

Il est abondamment répandu dans toutes les régions tropicales du Mexique, le long du golfe du Mexique depuis San Luis Potosi jusqu'au Yuatan, et sur la côte du Pacifique à partir de Nayarit jusqu'à l'état de Chiapas. Il appartient à la flore des forêts tropicales de grands arbres à feuilles persistantes et des forêts tropicales d'arbres moyens en partie à feuilles persistantes et pousse dans les sols argileux, d'origine ignée ou métamorphique, bien drainés, à une altitude variant entre 400 et 800 m au-dessus du niveau de la mer.

À l'heure actuelle, le chiclé sert à la fabrication du chewing gum, mais d'après les études effectuées par la banque mexicaine du commerce étranger, il pourrait être utilisé avec succès dans la fabrication de plâtres adhésifs, de vernis hydrofuges et, mélangé au caoutchouc, d'isolant pour les câbles électriques.

La production nationale de chiclé provient essentiellement de l'exploitation du sapotier dans les états de Campeche, Quintana Roo, Chiapas et Veracruz. On y produit chaque année environ 600 tonnes qui sont exportées vers les marchés américains, japonais et italiens.

Le chiclé est parmi les produits forestiers non ligneux l'un de ceux qui doivent affronter le plus grand nombre d'obstacles concernant la production et la commercialisation. Son exploitation a diminué de plus de 50 p. cent depuis 1979 à cause des changements dans l'utilisation des sols et de la forte pression exercée par les pays importateurs, les prix offerts ne rendant plus cette exploitation rentable.

Les méthodes d'exploitation sur le terrain permises par les autorités forestières sont de nature traditionnelle et se résument à pratiquer une entaille en forme de zig-zag sur le tronc avec une machette. L'incision mesure 2 cm ou plus de largeur par 1 cm de profondeur sous l'écorce et elle ne doit pas couvrir plus d'un cinquième de la circonférence du tronc. Le produit est recueilli dans un récipient du nom de *chivo* placé sous l'incision.

Le latex ainsi recueilli est transvasé dans une bassine en cuivre appelée *paila* et placé directement sur le feu. Pour l'empêcher d'adhérer aux parois de la bassine on remue fréquemment la résine qui reste sur le feu jusqu'à l'obtention d'une consistance pâteuse. On verse ensuite le contenu sur un lit de feuilles de palmier ou sur des sacs humides puis on le met dans des moules pour former des pains ou *marquetas*. Ceux-ci sont ensuite emballés dans des sacs et prêts à être mis sur le marché.

Ces activités représentent une source d'emploi direct pour environ 6 000 ouvriers désignés sous le nom de *chicleros*. Il convient aussi de faire remarquer que 31 000 autres personnes des régions tropicales dépendent économiquement de ce produit jusqu'à un certain point.

Bien que le produit enregistre une tendance à la baisse, on a mis sur pied des projets de recherche dans le but d'arriver à une exploitation optimale sans mettre la ressource en danger. À cette fin, des techniques d'extraction du chiclé et des méthodes de reproduction de l'espèce sont mises à l'essai; des études sur la commercialisation du produit, c'est-à-dire le problème principal, sont en cours.

## HORMONES STÉROIDES

Les hormones stéroides d'origine végétale ont constitué pour le Mexique une source de devises, étant donné qu'elles sont des produits d'exportation qui atteignent des prix relativement élevés sur les marchés internationaux; jusque dans les années 1970, le Mexique était le premier producteur mondial.

La diosgénine provient des rhizomes d'une série d'espèces sauvages du genre Dioscorées, plantes tropicales grimpantes munies de tiges annuelles ou vivaces, de feuilles cordiformes alternantes, de rhizomes superficiel persistants. La principale espèce utilisée est l'igname (*Dioscorea composita*) sur laquelle repose la production des stéroides et que l'on trouve dans les régions tropicales des états de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Puebla, Oaxaca (dans le bassin du golfe du Mexique). L'igname de cayenne (*Dioscorea floribunda*), qui vient au deuxième rang en importance, pousse dans les états de Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Campeche, Yucatan, Chiapas et Guerrero. Ces deux espèces contiennent entre 4 et 8 p. cent de diosgénine. Les autres espèces contribuant à la production de stéroides sont l'igname de Guinée (*D. spiculiflora*) qui pousse dans les États de Campeche, Yucatan et Chiapas et finalement le macal (*Dioscorea gallegoci*) que l'on trouve dans les régions subtropicales des États de Mexico, Michoacan et Guerrero. Ces deux espèces ont une teneur en diosgénine plus faible que les deux premières.

La diosgénine extraite des rhizomes de l'igname est transformée en hormones stéroédes de synthèse que l'industrie pharmaceutique emploie dans la préparation de divers médicaments ayant différentes actions hormonales et physiologiques, comme les hormones corticoïdes qui servent d'agents anti-inflammatoires pour les maladies de la peau et les allergies, l'asthme et l'arthrite, les hormones féminines utilisées dans la fabrication des contraceptifs, pour les troubles de la ménopause et contre la stérilité, et les hormones masculines pour traiter les tumeurs de la prostate.

La méthode d'exploitation consiste essentiellement à choisir la plante en fonction de l'épaisseur de la liane, car il existe une relation entre cette épaisseur et le poids du rhizome. Le bulbe, déterré avec une bêche, un levier ou une binette, est coupé en morceaux et placé dans des sacs qui seront transportés au moulin. Là, le bulbe sera moulu, fermenté et séché, et on en

extraira la fécule. C'est ce produit que l'industrie utilise pour l'extraction et le traitement de l'agent actif.

Quelques 20 000 paysans des régions où croît l'igname dépendent économiquement des activités primaires, sans parler des ouvriers permanents employés dans les moulins.

En 1986, la production des rhizomes d'igname frais a atteint environ 25 000 tonnes (équivalant à 5 000 tonnes de fécule d'igname), pour une valeur de 1 750 millions de pesos (prix du Bureau des normes forestières).

Dans le but de localiser les aires de distribution et d'exploitation et de réunir des données sur la dynamique de la production de l'igname, l'INIFAP a effectué des études sur le milieu naturel de cette plante pour déterminer ses besoins minimaux et optimaux dans son aire de distribution, déceler ses qualités, connaître les problèmes relatifs à cette ressource et établir des lignes de conduite en vue des futurs projets de recherche.

Une fois ces données obtenues, on a préparé un programme de recherche comportant deux volets: d'une part des essais pour découvrir des techniques de reboisement dans les aires naturelles, et d'autre part la mise en oeuvre d'une méthode permettant d'établir des plantations commerciales.

Dans le premier cas, on est arrivé à la conclusion, et on a établi comme méthode standard, que le cueilleur de rhizome devrait placer un morceau de bulbe à une profondeur d'environ 10 cm dans le sol afin de permettre le développement d'un nouveau plant et la conservation des zones de production.

Grâce au programme de recherche sur les plantations, il a été possible d'établir des techniques pour la récolte, la gestion et l'entreposage des graines, la reproduction massive de plants en lits de graines, la manipulation des rhizomes pour la reprodcution asexuée, les saisons et les méthodes de transplantation, le type et la forme des supports, les méthodes de gestion des plantations et des récoltes. Toutes ces informations one été réunies en un programme technologique qui sera appliqué par les districts de développement rural dans les états de Tabasco et d'Oaxaca. De plus, pour ne pas voir desparaître le pool génique, on a créé, dans deux régions écologiques différentes, une banque de plasma germinal de dioscorées.

## CONDIMENTS

Au Mexique, la production de condiments repose essentiellement sur l'exploitation de deux espèces ne fournissant pas de produits ligneux c'est-à-dire l'origan et le primenta. Ces deux produits sont exportés principalement vers les États-Unis et l'Europe.

### *Origan*

La production d'origan au Mexique résulte de l'exploitation des diverses espèces végétales appartenant aux familles des Verbénécacées, des Labiadées, des Composées et des Légumineuses dont les plus importantes sont: *Lippia berlandieri*, *Lippia palmeri*, *Monarda austromontana*, *M. citriodora* et *Hedeoma* spp. Ce sont des arbustes d'une hauteur de 0.50 à 1.50 m à feuilles persistantes qui constituent un peuplement dense et régulier dans les forêts basses d'arbres à

feuilles caduques et dans les taillis des déserts. Jusqu'à maintenant, on n'a pas encore déterminé la superficie couverte par cette plante dans les diverses régions du Mexique. Elles sont réparties dans les états de Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, Jalisco, Baja California Sud, Tamaulipas, Querétaro, Nuevo Leon, San Luis Potosi et Hidalgo.

L'origan est non seulement un condiment mais il sert aussi en médecine à la préparation de produits pharmaceutiques comme les antispasmodiques gastriques, les diaphorétiques et les expectorants, et ses huiles essentielles sont employées dans la fabrication des cosmétiques et d'autres produits pharmaceutiques.

La méthode d'exploitation de l'origan reste essentiellement la même dans les différentes régions de production. Après avoir choisi les arbustes, le cueilleur coupe à des longueurs variant entre 25 p. cent et 100 p. cent, à l'aide d'une variété d'outils ou à la main, les branches chargées du plus grand nombre de feuilles et de fleurs; sur les bouts de branches qui restent la pousse recommence chaque année.

La saison des récoltes revient une fois l'an et coïncide généralement avec les pluies et l'été, soit de juin à septembre. Toutefois, dans certaines régions productrices, la récolte coïncide avec les pluies d'hiver, à cause de la situation géographique (p. ex. Tamaulipas).

À la première étape, l'origan est séché, attaché en paquets puis transporté au domicile du cueilleur pour y être battu, opération qui a pour but de séparer les feuilles séchées de la tige. Le produit est mis dans des sacs ou ballots avant d'être transporté au moulin, où il doit subir différentes étapes de traitement à la machine: nettoyage, sélection, broyage et emballage.

La production et la commercialisation de l'origan varient en fonction de l'offre et de la demande sur les marchés internationaux et internes; elles enregistrent à l'heure actuelle, notamment depuis 1986, une tendance à la hausse attribuable à l'accident de Chernobyl. Comme la production de cette plante aromatique a été interdite dans les régions affectées par cet accident, le Mexique compensera la pénurie d'origan sur les marchés européens pendant au moins les cinq prochaines années.

En 1986, le Mexique a produit un total de 3 208 tonnes d'origan dont 90 p. cent ont été exportés vers les États-Unis au prix de 63 la livre (Bureau des normes forestières).

Étant donné que l'origan est une ressource qui a considérablement souffert de la présence du bétail, notamment des chèvres, certains établissements de recherche font actuellement des études à son sujet. C'est le cas de CIATEC à Guadalajara (Jalisco) qui effectue une recherche sur l'établissement d'une usine pilote pour l'extraction des huiles essentielles, et de l'INIFAP qui a entrepris des études systématiques sur le milieu naturel des espèces dans ses domaines expérimentaux en régions arides, et mis au point des techniques pour l'inventaire, le choix de l'intensité des coupes dans les conditions naturelles, la reproduction massive et l'établissement de plantations commerciales. Elle a aussi réalis des études de mise en marché.

*Pimenta*

Le pimenta ou quatre-épices (*Pimienta dioica* L.) représente l'une des rares ressources forestières autres que les produits ligneux qui soit cultivés au Mexique, quoique de manière empirique.

C'est un arbre de taille moyenne qui atteint de 15 à 20 m de haut avec un tronc droit légèrement strié. Cette plante dont l'écorce est lisse avec des écailles très minces, et les fleurs sont irrégulières, est structurellement hermaphrodite mais fonctionnellement dioïque. Son fruit, une baie plate, mesure de 10 à 15 mm.

Elle pousse sous un climat chaud, humide et sous-humide, à des températures moyennes de 26,3°C et sous des précipitations de l'ordre de 250 m. Elle préfère les sols de type latéritique et alluvial et, à un degré moindre, les sols à gley.

En milieu naturel, le pimenta (*Pimienta gorda*) est réparti dans le bassin du golfe du Mexique, dupuis la partie septentrionnale des ètats de Puebla et Veracruz jusque dans le sud de la péninsule du Yucatan, y compris les États de Tabasco, Campeche et Quintana Roo.

En plus de servir de condiment, le pimenta est utilisé par l'industrie dans les pays importateurs. Par exemple, en France, ses huiles essentielles servent aux concentrés de parfum, en Espagne pour assaisonner les viandes froides et au Japon pour aromatiser le café et le thé.

Différents systèmes de gestion sont utilisés pour la culture du pimenta ou quatre-épices. Dans certains cas, c'est en culture pure où les rangs et les plants sont séparés par une distance de 12 m. La gestion consiste essentiellement à élaguer pour éliminer l'excés de feuilles et à fertiliser; il n'y a pas de mauvaises herbes à enlever car le feuillage ne leur permet pas de pousser. Le pimenta commence à produire peu à peu à l'âge de 6 ans pour atteindre sa pleine capacité à partir de 20 ans jusqu'à environ l'âge de 100 ou de 150 ans, avec une production annuelle de 20 à 50 kg de fruits verts.

Comme le fruit pousse à l'extrémité des branches le cueilleur doit, au moment de la récolte, couper celles-ci pour ceuillir les baies, ce qui réduit la production de l'année suivante. Le fruit est ensuite séparé des grains et mis à sécher au soleil 7 heures par jour pendant 5 jours. Une fois sec, il est entreposé. Trois kilos de graines vertes donnent un kilo de graines sèches.

Le pimenta étant une espèce forestière sauvage largement adaptable, on peut aussi le trouver en association avec d'autres cultures comme celles de la noix de coco et du cacao, ainsi que dans les vergers familiaux comme enceinte naturelle ou arbre d'ombre. C'est sous cette forme que l'on trouve le plus grand nombre de pimentas.

À l'heure actuelle, le Mexique occupe le deuxième rang au monde dans la production du pimenta avec environ 3 000 tonnes par année, dont 90 p. cent sont exportés au Canada, aux États-Unis, en Grande-Bretagne, en Allemagne, en URSS, au Japon, en Hongrie, en Hollande, en Argentine, en Colombie, en Tchécoslovaquie et dans d'autres pays.

Afin d'améliorer la culture du pimenta, l'INIFAP a réalisé une étude pour en analyser les problèmes dans l'état de Tabasco, qui fournit á lui seul 70 p. cent de la production nationale. Cette étude a permis de déceler les problèmes suivants: les producteurs n'arrivent pas à distinguer la plante femelle de la plante mâle, ce qui rend la culture aléatoire si la proportion des plantes mâles est trop élevée. Il n'existe pas de système de distribution de pimenta dans les plantations mixtes, et l'on a ainsi détecté des problèmes de rivalité entre le cacao, la noix de coco et le pimenta, avec comme résultat un faible taux de production. Il n'y a pas d'outils spécialisés pour la récolte, et l'habitude de couper des branches fertiles persiste au détriment de la production. Enfin, le matériel génétique extrémement varié est de qualité médiocre.

Partant de ces données, on a mis sur pied un programme afin d'améliorer les plantations existantes et de créer de nouvelles techniques pour les plantations actuelles et futures, en mettant davantage l'accent sur les aspects génétiques et sur les méthodes de récolte.

## AUTRES PRODUITS

Il existe plusieurs autres produits forestiers non ligneux faisant l'objet d'exploitation et qui, sur le plan socio-économique, sont importants pour les populations rurales.

Tel est le cas du *tepejilote* qui comprend une variété d'espèces du genre *Chamaedorea* dont les feuilles sont exploitées comme ornement et assurent un revenu direct au cueilleur. Cette ressource est exploitée dans les hautes forêts tropicales des états de Chiapas, Yucatan, Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Oaxaca et San Luis Potosi, à des altitudes de 700 à 2 500 m. La production se situe autour de 1 200 tonnes et est exportée en Europe et aux États-Unis.

Le sotol, qui se compose de différentes espèces du genre *Dasylirion*, sert à la fabrication de boissons alcoolisées et dans certains cas également de fourrage. Cette plante est largement répandue dans les régions arides des États de Coahuila, Durango, Zacatecas et San Luis Potasi, et associée à différents types de végétation. On fait une utilisation semblable de turnera diffus (*Damiana Turnera diffusa*) qui, pendant plusieurs décennies, a été exploitée dans la péninsule de Baja California et dans l'état de Sonora. Cette plante est également utilisée par l'industrie pharmaceutique dans la préparation de médicaments pour traiter les troubles gastriques.

Pour extraire l'aloïne, un produit largement utilisé par l'industrie pharmaceutique et celle des cosmétiques, on utilise une plante appelé aloès ou *Aloe vera*. Cette espèce qui pousse dans les régions arides a connu récemment une forte demande sur le marché international et est devenue ainsi une nouvelle source de revenu pour les paysans.

Parmi les plantes pouvant constituer une ressource alimentaire ou fourragère, il y en a toute une série aux usages multiples dont les plus importantes sont: le Prosopis ou *Mezquite* qui abonde dans les zones arides et sert de nourriture aux humains, de fourrage pour les chèvres et comme fixateur d'azote dans le sol; on l'utilise aussi pour sa résine. La figue de Barbarie qui comprend différentes espèces du genre *Opuntia*, dont le fruit est un produit d'exportation à l'état naturel ou entre dans la fabrication de fromages et de confitures; ses pousses ou cladodes servent de nourriture aux humains et ses feuilles charnues de fourrage; enfin, il existe quelques plantes halophytes comme *Saladillo Atriplex* spp. utilisées comme source de fourrage pendant la saison difficile.

Pour toutes ces espèces on a mis sur pied des programmes de recherche dans le but de parvenir à une production optimale sans amoindrir la ressource.

## PERSPECTIVES

Pour parvenir à exploiter un plus grand nombre de produits forestiers non ligneux susceptibles de fournir une nouvelle source d'emploi aux populations rurales du Mexique, on distribue des catalogues sur les plantes utiles à des fins commerciales, dans lesquels les intéressés peuvent trouver des renseignements sur les utilisations, l'habitat, la répartition, les méthodes d'exploitation et, dans certains cas, les agents actifs à la base de leur commercialisation. Mise à part la possibilité d'élargir le marché de ces plantes, le but visé est d'établir grâce à la recherche les meilleures méthodes d'exploitation, sans mettre les espèces en danger.

Comme les paysans qui récoltent les produits forestiers non ligneux se consacrent également à l'agriculture et à l'élevage du bétail, l'INIFAP a conçu et met actuellement à l'essai des méthodes de production intégrale en zones arides. Suivant ces méthodes, une superficie d'environ 20 hectares est consacrée à la culture de plantes agricoles comme le maïs, les haricots, le sorgho et le blé, à la culture de fourrages composés essentiellement d'espèces halophytes comme *Atriplex, Kochia, Zacate Buffel* et à des plantations forestières de *Lechuquilla*, de candelilla, d'origan, de figue de Barbarie et de maguey, dans un effort d'utilisation maximale des sols et, d'abord et avant tout, pour que le paysan ait un revenu constant pendant toute l'année.

Enfin, on prévoit continuer la recherche sur les espèces traditionnelles qui donnent des produits non ligneux, tant dans le domaine de l'exploitation et de la conservation en milieu naturel que dans celui de l'extraction et du raffinage pour ajouter une plus grande valeur aux produits.

## CONCLUSIONS

Les produits forestiers non ligneux revêtent sur le plan social une importance de premier ordre, étant donné que dans leurs aires de distribution ils constituent la principale source de revenu des habitants des régions rurales qui les exploitent.

Les ressources forestières non ligneuses représentent à l'heure actuelle pour le pays une source considérable de devises, malgré le fait que la majorité de ces produits sont exportés comme matière première.

Les recherches sur les produits forestiers non ligneux doivent viser à découvrir des espèces végétales offrant des utilisations réelles ou possibles pour que ces produits prennent une part encore meilleure des marchés internationaux et intérieurs.

If faut de toute urgence s'occuper de la recherche pour obtenir les agents actifs et appliquer la technologie appropriée à l'industrialisation des ressources. C'est ainsi qu'on pourra accroître la valeur ajoutée des produits non ligneux et par le fait même procurer des avantages économiques plus grands au pays et aux producteurs.

On a recours à la technologie pour exploiter seulement quelques produits forestiers non ligneux. Par conséquent, il est nécessaire d'étendre les efforts de recherche à la gestion et à la conservation des ressources dans leur milieu naturel, de même qu'à l'application de techniques de culture lorsque l'importance socio-économique des espèces le justifie.

## RESUMEN EJECUTIVO

*Se destacan las especies forestales no maderables que son nativas en México, de las cuales se obtienen productos con valor comercial. Se incluyen plantas que generarn fibras duras (lechuguilla, palma samandoca y palmilla); ceras (candelilla y jojoba); resinas y látex (hule de guayule, resina de pino y chicle); hormonas esteroides; condimentos (orégano y pimienta) y otros productos. La descripción, en cada caso, incluye características de la planta y de su habitat, consideraciones del sistema de explotación y características, así como utilidad del producto. Se concluye con un análisis de perspectivas y conclusiones.*

## INTRODUCCIÓN

En México, los productos forestales no maderables tienen su origen en el aprovechamiento de una serie de especies vegetales, que en su mayoría se aprovechan en su estado silvestre en los diferentes ecosistemas naturales que conforman al país.

No obstante que dentro de la producción forestal, los productores forestales no maderables sólo representan el 5% de la producción total, éstos tienen gran importancia, ya que son fuente de empleo y de ingreso para un gran número de personas que habitan las zonas en que se localizan, además de que en ocasiones, esta actividad representa su única fuente de sustento.

La producción total de no maderables es muy variable. Por ser en su mayoría productos de exportación, depende su demanda en buena medida, de las fluctuaciones que presentan sus precios en el mercado mundial.

La Ley Forestal conceptúa como vegetación forestal a "la constituida por formas arbóreas, arbustivos, herbaceas, crasos y graminoides que se desarrollan en forma espontánea y permanente." Debido a la gran diversidad florística que tiene el país por estar situado entre las Zonas Templadas del Norte y las Regiones Tropicales, el número y tipo de productos forestales no maderables es muy variado, por lo que en esta presentación, sólo se dará información de productos que tienen la mayor importancia económica y social, tales como fibras, ceras, resinas, esteroides, condimentos y alimentos.

## FIBRAS DURAS

*Ixtles*

Los ixtles son productos no maderables que se obtienen del proceso detallado de la lechuguilla (*Agave lecheguilla*) y de la palma samandoca (*Yucca carnerosa*), especies ampliamente distribuídas en el Desierto Chihuahuense en México.

Dada la fuerte competencia que los ixtles han tenido con las fibras sintéticas, su aprovechamiento y comercialización confrontan fuertes fluctuaciones, en especial cuando el producto se exporta.

El ixtle de lechuguilla se obtiene del tallado del cogollo del *Agave lechuguilla*, que es una especie de la familia de las Agavaceas y que se presenta como un rosetón, con hojas y pencas de 20 a 25 cm de largo, de color verde obscuro, las cuales nacen del cuello de la raíz. Las hojas a su tierna edad forman un conjunto homogéneo en que unas hojas recubren a otras y éstas a las más tiernas, siendo estas últimas la porción aprovechable para extraer la fibra o ixtle y es lo que se denomina "Cogollo."

Se desarrolla de preferencia en las sierras con suelos de origen calizo y partes planas, siempre y cuando tengan buenas condiciones de drenaje o sea, suelos pedregosos, con precipitación de 120 a 200 mm anuales, de distribución errática y temperaturas medias de 18 a 22° C.

Se distribuye en una superficie no uniforme de 70 000 $km^2$ de los Estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas, con densidades por hectárea muy variadas.

Es de la *Yucca carnerosana* de donde se obtiene el ixtle de palma, la cual es una planta caulescente, simétrica, generalmente simple y en algunos casos forma densas agrupaciones de varios troncos de diferentes tamaños unidos en su base. Son troncos de 1.5 a 6 m de altura, llegando en algunos casos hasta los 10 m. El tronco termina en un rosetón de hojas sésiles de color verde azulado y longitud de 50 a 100 cm. En su parte central se halla un grupo de hojas tiernas que constituye el cogollo que se utiliza para extraer la fibra.

Generalmente la palma crece en altitudes de 1 000 a 1 800 m, preferentemente en laderas pedregosas y calizas, distribuyéndose en forma irregular con los demás componentes del matorral rosetófilo.

Se desarrolla en suelos de origen calizo y aluvial y en algunos valles con afloramiento de yeso, con precipitación de 296 a 600 mm annuales y temperatura media anual de 23°C, distribuyéndose en los Estados de Coahuila, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango y Nuevo León.

Los ixtles tienen diversos usos y aplicaciones; se utilizan en la fabricación de cepillos y brochas para pulir metales; brochas para pintura; cepillos de uso doméstico; también se elaboran de los ixtles; hilos, cuerdas, sogas y lazos, bajo alfombras, sacos para envasar granos y forros para pacas de algodón.

En forma general, el método empleado para la obtención del ixtle de lechuguilla y palma samandoca se inicia con la colecta del producto silvestre, que el "ixtlero" realiza en el campo. Se ayuda de una garrocha que termina en un anillo de acero. Con el anillo, arranca el cogollo y lo almacena en una bolsa, en que lo traslada al lugar del tallado, en fardos de entre 70 y 80 kg de peso.

Para la extracción de la fibra existe una diferencia entre palma y candelilla, ya que en el primer caso, los cogollos se ponen a hervir de 5 a 8 horas y luego se raspan; en la candelilla no se requiere de esa actividad.

El tallado del sistema tradicional consiste en eliminar la pulpa del cogollo con una navaja y poner al sol a secar la fibra. A partir de 1980, la empresa la Forestal F.C.L.* introdujo una máquina talladora movida por un motor eléctrico que hizo más eficiente la cosecha, ya que el ixtlero un día colectaba cogollos y al siguiente tallaba. La máquina permite hacer toda la actividad en un solo día.

En 1986, se produjeron 6,669 ton. de ixtle de lechuguilla y 4,462 ton. de ixtle de palma, con un valor total de 1,897 millones de pesos.

De la colecta y tallado de lechuguilla y de palma actualmente, depende la economía de unas 50,000 familias de las zonas áridas de México, ya que las condiciones climáticas existentes no permiten en forma segura ninguna actividad de tipo agrícola, o pecuaria.

Como la lechuguilla y la palma samandoca tienden a desaparecer en las zonas cercanas a los ejidos que la aprovechan, lo cual obliga al campesino a recorrer distancias hasta de 50 km. para producir por día de 5 a 6 kg de fibra, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) se dió a la tarea de seleccionar y establecer técnicas que permitan recuperar zonas sobreaprovechadas. Para ello se hizo un estudio de los sistemas tradicionales de colecta para mejorar las técnicas y probar algunas otras alternativas.

Los avances de investigación que se han tenido han permitido dominar técnicas para: el manejo de "hijuelos" (brotes) de plantas adultas, sistemas de trasplante y manejo. Con esos resultados la Forestal F.C.L. y los Programas Forestales SARH han iniciado programas de reforestación en algunas zonas en otro tiempo muy productoras.

Dadas las características de rusticidad de la planta, sus bajas necesidades hídricas y su amplia adaptación se han encontrado técnicas que permiten establecer plantaciones forestales de bajo costo en las cuales con la selección de algunos ecotipos se tienen turnos de 2 años en lugar de 4 o 5 que hay en forma natural.

Para lograr un aprovechamiento integral de la lechuguilla se hacen estudios coordinados entre el INIFAP e Instituto del Petróleo para lograr extraer saponinas del material de desecho (guichi) que actualmente no tiene uso.

*Fibra de Palmilla*

La fibra de palmilla se obtiene de la "Palmilla" o "Hiebra del Oso" que son los nombres comunes con que indistintamente se conoce a dos especies del género Nolina, que pertenecen a la familia Liliaceae y se describen como plantas perennes con un tallo estipite subterráneo, con numerosas hojas agurpadas de 12 mm de ancho y alrededor de 2 m de largo, dando la apariencia de un pastizal amacollado grueso.

Se le localiza en planicies, lomeríos suaves y laderas de pequeñas colinas, en altitudes de 900 a 2 000 metros s.n.m. aproximadamente, sobre suelos muy someros, pedregosos de origen ígneo, con temperatura media anual de 18 a 22$^{o}$ C y precipitación pluvial media anual de 400 a 600 mm: reportándose en el pastizal medio abierto, el amacollado y el matorral micrófilo subinerme en

* Empresa de capital gubernamental y ejidal, encargada de industrializar y comercializar los ixtles.

los Estados de Sonora, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, San Luis Potosí, Zacatecas y Nuevo León, principalmente.

La fibra de palmilla se usa como componente principal de los rodillos y discos de barredoras mecánicas con amplia aceptación en el mercado, especialmente de los Estados Unidos de Norte América. También se usa en la confección de escobas, cepillos, escobillones, núcleo de explosivos y en algunas artesanías.

El sistema de aprovechamiento en el campo es en base a material silvestre y consiste en cortar con hoz el follaje a una altura aproximada de 10 cm de la base, formándose bultos de aproximadamente 30 kg de peso; de ahí se transporta en animales de carga hasta la orilla del camino, de donde son llevados en camiones a la planta procesadora conocida como "palmillera," en este lugar se corta dándole la dimensión de acuerdo al uso, para barredora se corta a 45 pulgadas, se embala y sale al mercado de Estados Unidos; para la fabricación de cepillos, escobas, escobillas y núcleos para explosivos, a partir de la base se cortan las primeras 16 pulgadas que es el material de primera por ser más duro y menos quebradizo, el siguiente corte es de 16 pulgadas y es de segunda calidad; después de cortado, se pasa a una desfibradora mecánica y la fibra obtenida se seca al aire por 24 horas y posteriormente se embala en pacas de 70 kg y se exporta también en los Estados Unidos.

La producción anual es muy variada habiénsode tenido producciones hasta de 8 000 toneladas y mínimas de 1 900 toneladas debido a que la comercialización depende grandemente de la demanda del mercado internacional. En 1986 la producción fué de 2 200 toneladas con un valor de $50,000.00 por tonelada (Dirección General de Normatividad Forestal).

En cuanto a la ocupación que genera este tipo de actividad. Se calcula en unas 1 500 personas del noroeste del país, especialmente del Estado de Sonora que año con año se dedican a esa labor.

En un estudio de diagnóstico desarrollado con anterioridad por INIFAP, se encontró que un campesino puede aprovechar de 400 a 600 kg por hoja de palmilla, lo cual depende de la densidad por hectárea y la distancia de aprovechamiento, con un turno de 2 a 3 años dependiendo del área de aprovechamiento.

Ahora bien, como la palmilla es un recurso poco estudiado, desconociéndose la dinámica de sus poblaciones y cuál deber ser el correcto manejo del recurso, se vienen haciendo estudios sobre la ecología de la especie para llegar a conocer su interrelación con el medio ambiente en su área de distribución y su fenología, que complementado con la información que ya se tiene del sistema tradicional del manejo implementar un programa de investigación para lograr manejar y conservar el recurso.

## CERAS

*Cera de Candelilla*

La cera de candelilla es un producto de la recolección de una planta del desierto mexicano, conocida comúnmente con el nombre de candelilla (Euphorbia antisyphillitica Zucc.), que es una planta nativa del desierto chihuahuense de México y del sureste de los Estados Unidos de América.

En México, se distribuye en los Estados de Coahuila, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí, desarrollándose sobre suelos calcáreos, de origen colubial, de profundidad somera (menos de 25 cm.) y textura franco arenosa, con precipitación promedio que varía de 120 a 200 m, con distribución errática y en temperatura media anual de 18 a 22° C resistiendo temperaturas máximas de los 47° C.

La candelilla forma parte de la comunidad vegetal denominada matorral micrófilo, encontrándose asociados con Lechuguilla (*Agave lechuguilla*), Güapilla (*Hechtia glomerata*), Sotol (*Dasylirion berlandieri*) y Espadin (*Agave striata*).

La cera de candelilla, debido a las características físico-químicas que presenta, tiene una versatilidad de usos, entre los que sobresalen: la elaboración de gomas de mascar, recubrimiento de dulces, fabricación de lustres o abrillantadores, recubrimiento de papel de envoltura, envases higiénicos, fabricación de pinturas y mezclado con caucho se usa en la fabricación de artefactos eléctricos.

Comparada la cera de candelilla con otras ceras, resulta más dura y menos quebradiza que la de carnauba, aunque fundida es más viscoza que esta última. La cera de candelilla tiene dos defectos que hacen difícil su uso: la dificultad para su blanqueo, y la cantidad de resina que contienen; sin embargo, la mezcla con otras ceras permite ampliar la gama de usos de otras ceras de origen orgánico.

El método de aprovechamiento consiste básicamente de dos fases: la colecta de planta y la extracción (en centrod de procesamiento) y la de refinación del cerote. La colecta de la candelilla en el campo consiste básicamente en la extracción manual por arranque de la planta, lo que se hace tirando de ella y sacudiéndola tomada de la raíz para eliminar la tierra; actualmente el colector de candelilla tiene que trasladarse con esfuerzo propio, con bestias de carga o con vehículos de combustión interna hasta 35 km de distancia, ya que la planta se ha erradicado en los lugares alendaños a los centros de procesamiento.

Es en el centro de procesamiento donde se hace la extracción primaria de la Cera (cerote), y consiste básicamente en la utilización de recipientes especiales llamados "pailas" en los que usando como combustible hierba de candelilla procesada con anterioridad, se calienta agua acidificada y al estar en ebullición se carga con 240 a 260 kg de candelilla que se prensa y se le agrega ácido sulfúrico en una proporción de 8% en relación al peso de la planta; con este proceso se empieza a disolver la cera que se colecta con una pequeña pala cribada llamada espumador. Nuevamente se hierve para que con la ebullición las impurezas se asienten y la cera flote; esa cera es la que vende el colector.

La refinación se lleva a cabo por fusión de la cerote en pailas de refinación, adicionando nuevamente ácido sulfúrico y por decantación se elimina la impureza. De aquí se pasa a pilas de decantación en donde solidifica, cortándose en forma manual en pequeños trozos. Este es el producto que se comercializa.

Del aprovechamiento de la candelilla depende la economía de alrededor de 260 ejidos y 9 500 campesinos de las zonas áridas de los Estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Zacatecas, significando para ellos una derrama de 960 millones de pesos, con una producción anual superior a 3 000 toneladas de cerote, lo que significa que se destruyen aproximadamente unas 150 000 toneladas al año de planta de candelilla.

Como la tecnología del aprovechamiento del recurso durante los años transcurridos se ha mantenido sin variación, lo que ha traído como consecuencia la casi desaparición del recurso en algunas zonas altamente productoras, el Gobierno Mexicano a través de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ha intensificado últimamente las investigaciones con el objecto de lograr métodos más eficientes de aprovechamiento del recurso y sistemas extractivos que optimicen la cantidad y calidad de la cera de candelilla.

Las primeras investigaciones fueron encaminadas a determinar el método de colecta más adecuado, de tal manera que se pueda conservar la materia vegetal necesaria para que la planta logre una eficiente recuperación y pueda ser aprovechada permanentemente, ya que el "sistema de arrancar con todo y raíz" ocasionaba una nula recuperación de la planta; las investigaciones mostraron que un corte al 50% presenta la mejor recuperación de la planta. Respecto a épocas de corte experimentalmente se encontró que la época más adecuada para cosechar la planta es el mes de abril, pudiéndose incrementar la producción que normalmente es de 2 a 4% en otros meses, a un 8.3% con el método tradicional de extracción en "paila."

A fin de recuperar áreas sobre explotadadas por medio de reforestación o establecimiento de plantaciones, se desarrollaron investigaciones sobre reproducción de la planta encontrándose que el mejor sistema era el asexual, de tal manera que plantando un trozo de rizoma con 5 tallos, se podía llegar a establecer una nueva planta.

Una vez detectado un sistema de reproducción masivo de plantas, se probó el establecer plantaciones bajo temporal, encontrándose que la distancia entre plantas de 50 cm y entre surco de 1 metro es la más apropiada.

Asimismo, se vienen desarrollando estudios de tipo genético, iniciándose con la selección de ecotipos y/o variedades para determinar los que tienen mejores cualidades de adaptación y rendimiento de cera.

Paralelamente se hacen estudios para ampliar la gama de usos que puede tener la cera de candelilla, la Comisión de Zonas Aridas y la Universidad Autónoma de México lograron preparar una emulsión a base de candelilla que se ha usado satisfactoriamente para conservar limón, mango, aguacate y tuna, entre otras.

El Instituto del Petróleo en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ensaya una planta de extracción de cera de candelilla por medio de solventes orgánicos recuperables, los que no sólo producen la cera más pura, sino que pueden incrementar la extracción en un 10% arriba de la extracción actual por el sistema de paila", lo que además de incrementar el ingreso del colector, hará más competitivo el producto en el mercado internacional.

*Cera de Jojoba*

La cera de jojoba es un producto forestal no maderable que se obtiene de la semilla de la *Simmondsia chinensis* (Jojoba) que es un arbusto leñoso verde de la familia Buxaceae, que en condiciones naturales alcanza una altura de 60 a 90 cm y en algunos casos hasta los 5 metros, de hojas opuestas, oblongas, gruesas y consistencia coreácea. Es una planta dioica, habiéndose encontrado algunos ejemplares monóicos, la semilla es de color café, parecida a una nuez y rica en aceites. Requiere la jojoba de 2 años para producir la primera floración y de 4 a 5 para formalizar su producción.

Se distribuye en la mayor parte del denominado Desierto Sonorense, que comprende la porción suroeste de Arizona y California en los Estados Unidos de Norte América y los Estados de Sonora, Baja California y Baja California Sur en México.

Se asocia con especies propias del matorral cracicaule y en menor proporción a especies halófitas, con un límite altitudinal de 260 m sobre suelos arenosos y arcillo arenosos bien drenados, con precipitación media anual de 182.1 mm con máxima precipitación de agosto a septiembre y lluvias de invierno, con una temperatura media de 23.1$^{o}$C y libre de heladas.

La cera tiene los siguientes usos: como lubricante de maquinaria dada su resistencia a las altas temperaturas, en la fabricación de cosméticos (aceites, shampoo y jabones), en la farmacopea como portador de algunas preparaciones medicinales, como ceras pulidoras de muebles y automóviles, en la fabricación de velas por el poco humo que despide en la insineración y como protector contra la deshidratación de frutos.

Actualmente la producción de semilla es en su mayor volumen de origen silvestre, la colecta se hace en forma manual, depositándose en bolsas de ixtle o lona, requiréndose hasta de 3 recolecciones por año para pizcar la totalidad del producto dado el hábito que tiene la jojoba de madurar en diferentes épocas.

Actualmente se producen entre 750 y 800 toneladas de semilla de jojoba an año, con un valor de la semilla del órden de 720 millones de pesos (precio Dirección General de Normatividad Forestal), que producen alrededor de 387 toneladas de cera líquida, que en su mayoría es exportado a los mercados de Estados Unidos y Europa; de su aprovechamiento en el campo dependen cerca de 10 000 familias campesinas de los Estados de Sonora, Baja California y Baja California Sur.

Para la extracción de la cera existe una planta que opera la Comisión de Zonas Aridas en Ensenada, B.C., la cual maquila la semilla a los colectores y a la vez coopera en la comercialización de cera a mercados internacionales. En otros casos, el colector extrae la cera utilizando prensas construidas para la extracción del aceite de oliva.

La diversificación de productos derivados a partir de la cera líquida hacen de la jojoba una especie de interés económico estratégico por lo que se refiere principalmente a su aplicación como lubricantes.

Ahora bien, como la demanda de cera líquida que se prevee a un futuro próximo sobrepasa en mucho la que el recurso silvestre puede proporcionar, aunado ello a las desventajas de las fluctuaciones drásticas en la producción silvestre, en México el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) está llevando a cabo un amplio programa de investigación que incluye tanto el estudio de la jojoba en su estado silvestre como aquellos programas experimentales tendientes a lograr su domesticación y cultivo.

Para tener un mayor dominio de las condiciones ambientales en las que se desarrolla la planta en su área natural de distribución, se han desarrollado estudios ecológicos a través de la península de Baja California, que conjuntados con los trabajos de la Universidad de Sonora, se ha logrado abarcar toda el área de distribución de la especie; estos trabajos permitieron además de conocer las condiciones mínimas y óptimas en que se desarrolla la planta, localizar áreas productoras de semilla de alta calidad, que serán fuente de material de reproducción para futuros trabajos.

Como la jojoba ha sido impactada en algunas áreas por el ganado mayor y menor así como por la fauna silvestre pues el follaje sirve como forraje, se han establecido áreas de exclución para estudiar, por un lado, la evolución natural de las áreas cuando están protegidas y por otro, enriqueciendo el rodal por medio de reforestación o bien probando sistemas que permitan un mayor aprovechamiento de las aguas de escurrimiento por medio de curvas a nivel, sistemas de microcuencas en su modalidad de: herradura cepa común y zanja.

Referente a domesticación se ha logrado dominar técnicas que permiten reproducir en forma masiva a la especie, manejo en vivero, métodos de preparación del suelo, densidad de siembra, sistemas fito sanitarios, fertilización y manejo de la plantación, lo cual ha permitido establecer plantaciones semicomerciales que nos darán información sobre aspectos económicos del cultivo y complementar el paquete tecnológico.

## PRODUCTORES DE RESINAS Y LATEX

*Hule de Guayule*

El hule de guayule es un producto que no obstante que en el pasado tuvo una gran demanda, quedó fuera del mercado debido a la gran cantidad de resinas que contenía el latex y que era difícil eliminar. Al haberse desarrollado últimamente la tecnología para eliminar la resina y el extraerse hule de tan alta calidad como el del hule hevea, puede competir con ese pero sobre todo nivelar el déficit de hule que actualmente tiene la industria.

Existe un proyecto gubernamental manejado para la Comisión Nacional de las Zonas Aridas para establecer una planta procesadora del guayule con una capacidad de 25 000 toneladas anuales de hierba de guayule de origen silvestre.

El guayule (*Parthenium argentatum*) es un arbusto de color grisáceo, de la familia de las Compuetas, que puede alcanzar hasta un metro de altura, las ramas tienen una pubecencia plateada y es de ahí de donde proviene el nombre de la especie, argentatum. Contiene de un 10 a 15%, y resina 7 a 8%, celulosa de 30 a 40% y humedad del 20 al 30%. Además de ser una especie vegetal productora de hule, también se puede usar como adhesivo para barnices y pintura.

El guayule se puede encontrar en alturas que varian de 600 a 1 1 800 m.s.n.m., en suelos calcáreos con una precipitación de 140 a 250 mm anuales soportando temperaturas entre los -14 a los 44$^{o}$C.

Se distribuye en los estados de Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León, Chihuahua, Durango, Tamaulipas y Querétaro.

Con el objeto de estar preparado para un posible resurgimiento del aprovechamiento del guaye se han llevado a cabo algunas investigaciones, en las que se tienen los siguientes avances:

Un estudio dasonómico de la especie que se ha llevado a cabo en los estados de Coahuila, San Luis Potosí, Neuvo León, Chihuahua y Durango.

Colecta de ecotipos del área de distribución por parte INIFAP - Universidad "Antonio Narro", siendo ésta última la que continua los estudios sobre manejo de los diferentes ecotipos colectados.

Epoca en intensidad de cortes en condición silvestre donde INIFAP se encontró que con un 60% de corte se lograba la recuperación en 3 años.

*Resina De Pino*

La importancia de la resina en México no estriba unicamente en el aspecto de su producción sino también, y fundamentalmente en el renglón socieconómico, ya que debido al establecimiento de prolongadas vedas forestales para el aprovechamiento de la madera, la resinación constituyó el único esquilmo del bosque en extensas regiones cubiertas por pinaceas y fué una de las pocas fuentes de trabajo en el medio rural ejidal.

Son muy diversas las especies de Pino que en México son motivo de resinación, entre las cuales destacan *Pinus douglasiana, P. leiophylla, P. occarpa, P. montezumae, P. lawsoni y P. michoacana*, entre otros, localizándose los aprovechamientos comerciales en los estados de Michoacán, Jalisco y México en ese orden de importancia, habiendo pequeñas producciones en Durango, Nuevo León y Puebla.

La resina es muy usada en la fabricación de ceras, pinturas, jabones, adhesivos y algunos productos farmaceuticos.

La resinación de los bosques de pino en México en forma comercial se ha venido llevando a cabo desde hace más de 50 años, habiéndose usado diversos sistemas de resinación, tales como el Sistemas de Cajet, el Sistemas de Crott y el Sistema de Espina de Pescado o Alemán-Americano, los que debido a lo nocivo que resultó para el arbolado, el Servicio Forestal prohibió su aplicación y ordenó en 1937 el uso del Sistema Frances o de Hughes, mismo que no fué sino hasta 1959 en que se empezó aplicar con todas sus normas.

Este sistema, según Mas Porras (1981) consiste en: Desroñe que es el descortezar con una hacha plana en un faja de anchura un poco mayor a la de la cara por resinar en el año; Apertura de Cara que consiste en hacer una incisión transversal en la parte inferior del fuste a una altura que permite colocar el "cachorro" en que escurre la resina. La cara que se abre es de 10 cm en sentido horizontal, 3 cm en el vertical y 15 cm de profundidad, operación que se hace con una hacha plana o curva; Engrapado, una vez abierta la cara se inserta un "visera" en la parte inferior, de 12 cm delargo por 3.5 de ancho, visera que se sube 50 cm cada año, y es la que conduce la resina al cacharro; Pica que es una incisión que se hace de 1.5 cm de profundidad en forma ascendente realizándose la pica cada 5 días durante las lluvias y cada 8 días el resto del año; Ramasa o Recolección después 2 a 4 picos, los cacharros se llevan y se vacian en botes alcoholeros para su transporte al lugar de concentración.

La producción anual de resina, es del órden de las 43 000 toneladas, con un valor en el campo de 13 760 millones de pesos (precio Dir. Gral. de Normatividad Forestal); estimándose que en el país cerca de 2 400 familias encuentran sustento de la resina.

La mano de obra dedicada a las labores de resinación es todavía barato en México en comparación con otros países productores, lo cual establece una situación favorable desde el punto de vista comerical. Sin embargo es conveniente aclarar que el precio de la resina se rigre por el mercado internacional, habiendo una tendencia a reducir la producción de resina en los países productores donde el costo de la mano de obra hace poco costeable la industria resinera.

Para mejorar y optimizar los sistemas de resinación en México, en 1950 Avila Hernández llevó a cabo las primeras experiencias de resinación estimulada, ensayando diferentes concentraciones de ácido sulfúrico y diferentes frecuencias de aplicación en caras con el sistema Hughes, investigación que luego continuó el Campo Experimental Barranca de Cupatitzio, Mich. de INIFAP donde se tuvieron los siguientes resultados: que *Pinus michoacana* var. *cornuta* que es de baja producción, incrementaba la producción en 40% al estimular con ácido sulfúrico; que los pinos de baja producción con pica mecánica que afecta la albura, son más sensibles a la acción de estimulantes; que las especies *Pinus oocarpa y P. leiophylla* resineras por excelencia solo tuvieron incrementos variables entre el 15% y 25%.

Como parte del programa de investigación sobre resinas se probó el "Sistema Americano de Pica de Corteza con Estimulante" conocido como el de "Pica de Corteza" encontrándose que el método con ácido sulfúrico al 60% en masas en donde predomine *Pinus douglasiana* y otras especies que normalmente no son buenas resineras, tales como *Pinus michoacana, P. herrerari, P. pseudostrobus y P. lawsoni* pudiera incrementarse la producción haciendo las picas cada 12 días, pero primero hay que constatar la información a otro nivel y efectuar el estudio económico.

*Chicle*

El chicle es un producto que se obtiene del latex del tronco del árbol conocido como "níspero zapote" o "chicozapote" (*Manilkara zapota* L.).

Es un árbol hasta de 40 metros de altura y de 125 cm de diámetro, con corteza de color obscura, acanalada, hojas pecioladas y de frutos comestible, ovoide, de más de 6 cm de diámetro.

Se distribuye profusamente en la porción trópical de México, en la región del Golfo de México, desde San Luis Potosí hasta el estado de Chiapas, como componente florístico de las Selvas Altas Perennifolias y las Selvas Medianas Subperennifolias, en suelos calizos, ígneos o metamórficos, con buen drenaje y en alturas que van de los 400 a los 800 m.s.n.m.

Actualmente el Chicle se utiliza en la fabricación de goma de mascar, pero según estudios del Banco de Comercio Exterior puede ser usado en forma satisfactoria para la manufactura de emplastos adhesivos, de barnices resistentes al gua y como aislante en cables de conducción eléctrica.

La producción nacional de chicle proviene basicamente del aprovechamiento del chicozapote en los estados de Campeche, Quintana Roo, Chiapas y Veracruz, de donde anualmente se producen alrededor de 600 toneladas, que se exportan a los mercados de los Estados Unidos, Japón e Italia.

El chicle es uno de los productos forestales no maderables que enfrenta la mayor problemática en cuanto a producción y comercialización, ya que su aprovechamiento se ha reducido en más de un 50%, de 1979 a la fecha, debido al cambio en el uso del suelo, y a las presiones de los países a los que se exporta, ya que los precios actuales hacen poco costeable su aprovechamiento.

El sistema de aprovechamiento en el campo, autorizado por las Autoridades Forestales, es de tipo tradicional y consiste en un picado del tronco con machete en forma de Zig-Zag, teniendo la incisión dos o más centímentros de ancho por uno de profundidad, abajo de la corteza, no comprendiendo más de la quinto parte de la circunferencia del tronco, recibiéndose el producto en un recipiente llamado "chivo" que se coloca en la base del picado.

Para el conocimiento, el latex se vacía en recipientes de cobre llamados "pailas", que se someten a fuego directo y con un removedor, se agita frecuentemente para evitar que la goma resina que pega a las paredes se queme; así se mantiene en el fuego hasta que adquiere una consistencia pastosa (vaciandose en el piso de hojas de palma o costales húmedos, de donde posteriormente se pasa a moldes que forman "Marquetas", las cuales se encostalan y quedan listos para la venta.

Estas actividades son fuentes de trabajo directo para alrededor de 6 000 chicleros, considerándose además que 31 000 personas de las regiones trópicales tienen cierto grado de dependencia económica de est_ producto.

No obstante que es un producto con tendencia a la baja, se han venido desarrollando investigaciones con el objeto de llegar a un óptimo aprovechamiento, sin poner en peligro el recurso, para lo cual se ensayan técnicas de aprovechamiento y extracción; sistemas de reproducción de la especie y estudios de comercialización.

## HORMONAS ESTEROIDES

Las hormonas esteroides de origen vegetal han sido para México, fuente de divisas, en virtud de que son productos de exportación que alcanzan en el mercado internacional valores bastante altos, habiendo ocupado México, hasta los años setenta, el primer lugar como productor mundial.

La "diosgenina" se obtiene de los rizomas de una serie de especies silvestres del género Dioscorea, plantas trepadoras de las regiones tropicales, caracterizadas por guías anuales o perennes de hojas acorazonadas, alternas y rizomas poco profundos y perennes. Las principales especies que se aprovechan son: la *Dioscorea composita* (barbasco), en el que se basa la producción de esteroides, se distribuye en la porción tropical de los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Puebla y Oaxaca, siguéndole en importancia la *Dioscorea floribunda* (barbasco amarillo), que crece en los estados de Vera Cruz, Oaxaca, Tabasco, Campeche, Yucatán, Chiapas y Guerrero; estas dos especies tienen contenidos entre 4 y 8% de diosgenina. Otras especies que contribuyen a la producción de esteroides son *D. spiculiflora* (barbasco blanco) que se distribuye en Campeche, Yucatán y Chiapas y finalmente la *Dioscorea gallegoci* (macal) que se distribuye en la porción subtropical del Estado de México, Michoacán y Guerrero; ambas especies con contenidos de diosgenina inferiores a las dos especies anteriores.

La diosgenina extraída de los rizomas del barbasco es transformada en hormonas esteroides sintéticas, que la industria farmaceútica utiliza para la elaboración de diversos medicamentos con actividades hormonales y fisiológicas de diversa índole, tales como las hormonas corticoides que sirven de agentes antiinflamatorios en enfermedades y alergias de la piel, asma y artritis, las hormonas femeninas para fabricar anticonceptivos para problemas de menopausia y esterilidad y las masculinas para tratar tumores prostáticos.

El sistema de aprovechamiento consiste básicamente en seleccionar la planta en función del grosor del bejuco, dada su correlación con el peso del rizoma; posteriormente con una pala, barra o coase desentierra el camote, el que una vez extraído se troza y se encostala para ser llevado al beneficio, en donde se muele, se fermenta y se seca para obtener la harina de barbasco, que es el producto que compra la industria para su procesamiento y extracción del principio activo.

De la actividad primaria depende la economía de unos 20 000 campesinos del área de distribución del barbasco, ello sin tomar en cuenta a los empleados que permanentemente trabajan en los beneficios.

En 1986 se tuvo un aprovechamiento de 25 000 toneladas de rizomas frescos de barbasco (equivalente a 5 000 toneladas de harina de barbasco) con un valor, a nivel de campo, de 1 750 millones de pesos.

Con el objeto de localizar áreas de distribución y aprovechamiento, así como conocer la dinámica de producción del barbasco, con el fin de conocer sus necesidades mínimas y óptimas en su área de distribución, detectar calidades, conocer la problemática del recurso y marcar pautas para futuros trabajos de investigación.

Con la información obtenidas, se elaboró un programa de investigación en dos direcciones; por un lado se intentó encontrar técnicas sobre reforestación en áreas naturales y por el otro, lograr implementar un sistema para establecer plantaciones comerciales.

En el primer caso, como resultado de investigaciones, se encontró y estableció como norma, que el colector de rizomas deje un trazo de camote enterrado a unos 10 cm de la superficie del suelo, con lo cual se garantiza el producir una nueva planta y conservar, las áreas productoras.

Con el programa de investigación sobre plantaciones se logró establecer técnicas sobre colecta, manejo y almacenamiento de semillas; sistemas para hacer reproducciones masivas de plantas por semilleros; manejo de rizomas para reproducción asexual; épocas y sistemas de trasplante; tipo y forma de soportes; técnicas de manejo de plantaciones y cosecha; con toda esta información se han formado un paquete tecnológico que será implementado por Distritos de Desarrollo Rural en Tabasco y Oaxaca. Además, para no perder el acervo genético, se formó un banco de germoplasma de dioscoreas en dos áreas ecológicas diferentes.

## CONDIMENTOS

La producción de condimentos en México está basada especialmente en el aprovechamiento de dos especies no maderables, que son el orégano y la pimienta, productos que en su mayoría son exportados a los Estados Unidos y Europa.

*Orégano*

La producción de orégano en México depende del aprovechamiento de varias especies vegetales pertenecientes a las familias botánicas de las Verbenaceas, Labiadas, Compuestas y Leguminosas, entre las que destacan los géneros: *Lippia; Monorda y Hedeoma* spp. Son arbustos de 0.50 a 1.50 m de altura, de hojas perenne; en algunos casos constituyen verdaderas poblaciones densas y regulares en las selvas bajas caducifolias y matorrales desérticos, no habiéndose a la fecha, cuantificado la superficie real que ocupa en las diversas regiones de México. Se distribuye en los estados de Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, Jalisco, Baja California Sur, Tamaulipas, Querétaro, Nuevo León, San Luis Potosí e Hidalgo.

El orégano además de ser usado como condimento, también se emplea en la medicina para la preparación de productos farmaceúticos tales como antiespasmódicos estomacales, diaforéticos y

expectorantes, y los aceites esenciales extraídos, se usan en la fabricación de cosmeticos y otros productos farmaceúticos.

El aprovechamiento de orégano en las diversas regiones productoras es esencialmente el mismo; se inicia con la selección de los arbustos, el corte de las ramas con mayor abundancia de follaje y flores, cortando mediante diversas herramientas o con la misma mano y bajo diversas intensidades, que van desde el 25% al 100%, retoñando los troncos dejados cada año.

La temporada de recolección es anual, y por lo general coincide con las lluvias de verano (Junio a Septiembre) sin embargo, por la posición geográfica de algunas regiones productoras del país, la colecta coincide con las lluvias de invierno, como es el caso de Tamaulipas.

En una primera etapa de transformación el orégano se seca, formando atados que posteriormente se transportan a la casa del colector - donde es golpeado para desprender la hoja seca de los tallos, empacando el producto en sacos o costales para transportarlos al beneficio, el cual se lleva a cabo por medio de maquinaria en las fases de: limpieza, selección, molido y envasado.

La producción y comercialización de orégano varía, dependiendo de la oferta y la demanda del mercado internacional y nacional. Ultimamente ha mostrado tendencia a la alza, en especial a partir de 1986, por el accidente de Chernovil, ya que al quedar vedada el área de producción de orégano de la zona afectada, México proveerá parte del orégano faltante en el mercado Europeo, cuando menos por 5 años.

En 1986 se cosechó un total de 3 208 toneladas de orégano, habiéndose exportado el 90% de la producción a Estados Unidos, el que pagó a $0.63 dólares la libra. Diversas Instituciones dedicadas a la Investigación están desarrollando estudios sobre orégano, tal es el caso de un Centro en Guadalajara, Jal. que investiga el establecimiento de una planta piloto extractora de aceites esenciales y del INIFAP, que por medio de sus campos de las regiones áridas, ha venido efectuando estudios sistemáticos sobre la ecología de la especie, desarrollo de técnicas de inventario, selección de intensidades de corte en condiciones naturales, sistemas de reproducción masiva, técnicas para el establecimiento de plantaciones comerciales y estudios sobre comercialización.

*Pimienta*

La pimienta gorda (*Pimienta dioica* L.) es uno de los pocos recursos forestales no maderables, que aunque en forma empírica, se cultivan en México.

Es un árbol de porte medio, que alcanza alturas entre 15 y 20 metros cno trnco erecto, ligeramente acanalado; corteza lisa con escamas muy delgadas; de flores irregulares, estructuralmente - hermofroditas pero funcionalmente dioicas; el fruto es una baya aplanada de 10 a 15 mm.

Se desarrolla en climas cálido húmedos y en clima cálido subhúmedo, en temperaturas medias de 26°C y precipitación del orden de los 2 500 mm. Preferentemente, en suelos de tipo laterítico, aluviones y en menor proporción en suelos gley.

Ecológicamente la pimienta gorda se distribuye en la vertiente del Golfo de México, desde el norte de Puebla y Veracruz hasta el sur de la Península de Yucatán, abarcando los estados de Tabasco, Campeche y Quintana Roo.

La pimienta gorda además de ser usada como condimento de alimentos, es también utilizada por diferentes industrias en los lugares a los que se exporta, por ejemplo en Francia se usa por sus aceites esenciales para concentrados de perfumes; en España para sazonar carnes frias y en Japón como saborizante para café y té.

El cultivo de la pimienta gorda se conduce bajo diferentes sistemas de manejo, pués en algunos casos el cultivo es puro, donde se usan distancias de siembra de 12 x 12 m y su manejo consiste básicamente de podas para eliminar exceso de follaje y fertilización, no requiriendo de control de maleza puesto que el follaje no permite su desarrollo; la pimienta inicia su producción en forma incipiente a los 6 años, alcanzando plena producción a partir de los 20 años hasta los 100 ó 150 años aproximadamente, con una producción de 20 a 50 kg de fruto verde por árbol y por año.

Para la cosecha, como el fruto se da en la parte terminal de las ramas y para evitar accidentes, el colector corta las ramas, para piscar las bayas, después el fruto se separa de la baya y se pone a secar al sol por 5 días con 7 horas de sol y una vez seco se almacena. Por cada 3 kg de semilla verde se obtiene 1 kg de semilla seca.

Como la pimienta es una especie silvestre extraída de la selva, de amplia adaptación, también se le puede encontrar asociada con otros cultivos como el coco y cacao, así como en el huerto familiar, en cercos vivos o como árbol de sombra. Es en estos sistemas en los que la pimienta se encuentra en mayor cantidad.

Actualmente México ocupa el segundo lugar como productor mundial de pimienta, con una producción de las 3 000 toneladas anuales, de las que se exporta el 90% a los mercados de Canada, Estados Unidos, Inglaterra, Alemanía, Rusia, Japón, Hungria, Holanda, Argentina, Colombia y Checoslovaquia, entre otras.

Con el objeto de mejorar el cultivo, el INIFAP desarrolló un estudio de diagnóstico sobre su problemática en el estado de Tabasco, de donde se obtiene el 70% de la producción nacional, econtrándose los siguientes problemas: (1) El productor no distingue las plantas femeninas de las masculinas lo que hace riesgoso el cultivo al tener un alto número de árboles machos; (2) No hay un sistema sobre la distribución de la pimienta en cultivos asociados, habiéndose detectado problemas de competencia entre el cacao y coco con la pimienta, resultando bajas producciones; (3) No hay herramientas especializadas para la cosecha; de hecho, se acostumbra cortar las ramas productoras, lo que va en detrimento de la producción; y (4) El material genético es muy variado y de no muy buena calidad.

Con esa información se ha diseñado un programa para mejorar las plantaciones existentes y establecer nuevas técnicas para plantaciones actuales y futuras. Dando mayor énfasis a los aspectos de tipo genético y sistemas de cosechas.

## OTROS PRODUCTOS

Existen otra serie de productos forestales no maderables qu son objeto de aprovechamiento y que son de importancia económica y social para los habitantes del campo.

En este grupo se encuentra el Xiat ó "tepejilote" constituído por varias especies del género *Chamaedorea* planta que se aprovecha como ornato y proporciona ingresos económicos directos

al colector. Este recurso se aprovecha en las selvas altas de los estados de Chiapas, Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Oaxaca y San Luis Potosí, en localidades con altitudes de los 700 a los 2 500 m; con un aprovechamiento de alrededor de las 1 200 toneladas, que son exportadas a los mercados Europeos y de los Estados Unidos.

Para la fabricación de bebidas alcohólicas se utiliza "el sotol", constituído por diferentes especies del género *Dasylirion*, el que también se aprovecha en algunos casos como forraje. Esta planta se distribuye ampliamente en las zonas áridas de los estados de Coahuila, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí, asociado a diferentes tipos de vegetación. Con uso semejante está la "Damiana" (*Turnera Diffusa*), aprovechada en la Península de Baja California y Sonora desde hace varias décadas, teniendo uso también en la industria farmaceútica para elaborar productos para curar males gástricos.

Para la extracción de "aloina", producto muy usado en la industria farmaceútica y de cosméticos, se utiliza la "sávila" (Aloe vera), especie de zonas áridas que últimamente ha tenido gran demanda en el mercado internacional y que se ha convertido en una nueva fuente de ingresos para el campesino.

Como fuente de alimento y/o forraje se usan una serie de plantas de producción múltiple, entre los que destacan: el "Mezquite" (*Prosopis* spp.) distribuído profusamente en las zonas áridas, que se utiliza como alimento humano, forraje para cabras y como productor de resina y fijador de nitrógeno *Opuntia* cuyo fruto es producto de exportación ó transformado en quesos y mermeladas, el retoño ó clado dio es alimento humano y la penca es utilizada como forraje; finalmente se tienen algunas plantas halófitas que son fuente de forraje en la época díficil del año, como es el caso del "Saladillo" (*Atriplex* spp.).

Para todas esas especies se tienen programas de investigación tendientes a lograr su óptimo aprovechamiento sin menoscabo del recurso.

## PERSPECTIVAS

Con el objeto de lograr el aprovechamiento de un mayor número de especies forestales no maderables, que pudieran ser nuevas fuentes de trabajo para el habitante de las áreas rurales de México, se están elaborando catálo los sobre plantas útiles de interés comercial, en las que se registra información base sobre usos, habitat, distribución, sistemas de aprovechamiento y en algunos casos los principios activos base de su comercialización; de tal manera que, aparte de buscar ampliar su mercado, se establezcan por medio de la investigación, los mejores sistemas de aprovechamiento sin poner en peligro a la especie.

Dado que los colectores de recursos forestales no maderables, además de esa actividad, se dedican al desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias, el INIFAP diseño y esta probando sistemas de producción integrada para las zonas áridas; en donde en una superficie de alrededor de 20 ha se conducen cultivos agrícolas tales como el maíz, frijol, sorgo y trigo; cultivos de forrajes en base a especies halófitas tales como *Atriplex y Kochia*, Zacate Buffel y plantaciones forestales de Lechuguilla, Candelilla, Orégano, Nopal y Maguey, todo esto con el fin de alcanzar un aprovechamiento óptimo del suelo y sobre todo, lograr que el campesino tenga ingresos permanentes durante todo el año.

Finalmente, se tiene planteado continuar la investigación sobre las especies no maderables tradicionales, tanto en lo que se refiere al aprovechamiento y conservación en su medio natural, como en las fases extractivas y de refinación, para lograr un mayor valor agregado del producto.

## CONCLUSIONES

Los productos forestales no maderables son de gran importancia social, dado que en sus áreas de distribución, su aprovechamiento representa la principal fuente de recursos económicos para la gente del campo.

Los recursos forestales no maderables representan en la actualidad para México, una fuente de divisas considerable, a pesar de que la mayoría se exportan como productos no elaborados.

La investigación de los recursos forestales no maderables debe dirigirse hacia la detección de especies con usos actuales o potenciales que son susceptibles de aprovechamiento, con lo que se ampliará la gama de productos no maderables incorporados al mercado nacinal e internacional.

Es urgente desarrollar investigación que permita la obtención de principios activos e implementar la tecnología adecuada para la posterior industrialización de los mismos, lo que incrementará el valor agregado de los productos no maderables, redundando ésto en un mayor beneficio económico tanto a nivel nacional como para el productor.

Son pocos los recursos forestales no maderables en los que se cuenta con aprovechamiento tecnificado, por lo que es conveniente ampliar las investigaciones sobre manejo y conservación de éstos en su estado natural, así como orientarlas hacia la instrumentación de técnicas de cultivo cuando la importancia socioeconómica de la especie lo justifique.